3. RÉSZ Megszilárdult beton témaköre 3. RÉSZ

Betonok fagy- és olvasztósó-állóságának vizsgálata és követelmények *(2009. augusztus)*
Betonok fagy- és olvasztósó-állósági vizsgálatának folyamatábrái *(**2020.** július)*
Betonok fagyállóság-vizsgálati, illetve fagy- és olvasztósóállóság-vizsgálati hámlásának lassulási folyamata *(**2020.** április)*
Betonok környezeti osztályai *(2005. július;* frissítés: *2008. augusztus; 2020. évi frissítés)*
Betonok környezeti osztályai. Előadás a csíksomlyói "ÉPKO 2009" konferencián *(2009. július, frissítve: . 2011. január)*
Betonok nyomószilárdságának elfogadási tényezője *(2006. április)*
Betonok savállósága *(2017. március)*
Betonkészítés zúzottkő adalékanyaggal. Építőanyag. 1982. 6. szám. pp. 227-229. *(2009. október)*
Betonra káros hatású talajvíz. Részlet **Vendl Aladár:** Geológia (1953) című egyetemi tankönyvéből *(**2025.** május)*

BETONOK FAGY- ÉS OLVASZTÓSÓ-ÁLLÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA ÉS KÖVETELMÉNYEK

A dolgozat *Balázs L. György – Kausay Tibor* azonos című cikke alapján készült, amely a *fib* (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozatának VASBETONÉPÍTÉS nevű folyóiratában jelent meg két részben, az első rész a 2008. évi 4. szám 127-135. oldalán, a második rész a 2009. évi 2. szám 55-65. oldalán.

A kültéri beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek tönkremenetelében jelentős szerepe van a fagy és olvasztósó hatásának. A fagy- és olvasztósó-állóságra történő betontervezés szempontjai az európai szabványok bevezetésével a korábbiakhoz képest módosultak. Ezért érdemes áttekinteni a beton fagy- és olvasztósó-állóságának feltételeit, az új, MSZ EN 206-1:2002, ill. az MSZ 4798-1:2004 beton szabványokban megfogalmazott követelményeket, és összehasonlítani a visszavont MSZ 4715-3:1972 szabvány, valamint az MSZ CEN/TS 12390-9:2007, az MSZ EN 12371:2002 és az MSZ EN 1338:2003 szabvány, továbbá a CEN/TR 15177:2006 műszaki jelentés szerinti fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatok jellemzőit.

Kulcsszavak: beton, környezeti osztály, fagyállóság, olvasztósó-állóság, vizsgálat

1. BEVEZETÉS

A beton fagyállóságának kérdése régóta foglalkoztatja a kutatókat. Például *Graf* 1950-ben arról számolt be, hogy *Walz* 1937-ben különböző adalékanyag-keverékek fagyállóságát vizsgálta 50 ciklussal, majd a fagyasztás után a szemhalmazokat forgódobba helyezte és meghatározta aprózódásukat. *Walz* az aprózódási vizsgálatot a fagyasztásnak ki nem tett szemhalmazokon is elvégezte. Az aprózódási vizsgálat után meghatározta mind az etalon, mind a fagyasztott szemhalmazok finomsági modulusát, és az adalékanyag-keverék fagyállóságára az etalon és a fagyasztott szemhalmazok aprózódás vizsgálat utáni finomsági modulusának összevetéséből következtetett. Ma az ilyen jellegű kísérletet az „adalékanyag alaptulajdonságának (aprózódás) változása időállósági modell-folyamat (fagyasztás) hatására" kifejezéssel írnánk le (MSZ 18289-1:1978). *Hummel* könyvének 12. kiadásában (1959) azt fejtegeti, hogy a szabványos fagyállóság vizsgálati módszer nem minden esetben ad a beton fagyállóságáról hű képet. Abban az időben Németországban a vízzel telített beton fagyállóságát 25-szöri, -15 °C hőmérsékleten történő fagyasztással és +15 °C hőmérsékleten történő olvasztással vizsgálták (DIN 52104). A Német Vasbeton Bizottság (57. Heft des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton) fagyállónak tekintett minden, legalább 15 N/mm^2 kockaszilárdságú betont. *Palotás* 1952-ben ugyanerre a német ajánlásra hivatkozott, és ismertette az MNOSZ 934:1949, ill. MNOSZ 934:1951 szerinti fagyállóság vizsgálatot, amelyet 200 mm élhosszúságú próbakockák 25-szöri fagyasztásával végeztek. A fagyasztás időtartama -20 °C hőmérsékleten, 0,5 m^3 űrtartalmú légtérben legalább hat óra, a felengedés időtartama (+15) – (+20) °C hőmérsékletű vízben szintén hat óra volt. Meghatározták a tömegveszteséget 0,1 tömeg% pontossággal, és lehetővé tették a fagyasztott („modell-folyamat") próbakockák nyomószilárdságának az összehasonlítását az azonos korú (a fagyasztási időt is beleértve) próbakockák nyomószilárdságával („alaptulajdonság").

Az utóbbi mintegy fél évszázad alatt a beton fagyállóságának megítélésében sok változás történt. Bevezették az utak téli jégolvasztó-sózását, megjelentek és elterjedtek a légbuborékképző adalékszerek, fejlődött a tudomány és a műszerezettség, külön hangsúlyt kapott a tartósság és a védekezés a káros környezeti hatások ellen, korszerűsödtek a vizsgálati eszközök és módszerek (pl. roncsolásmentes vizsgálati módszereket dolgoztak ki a fagyási folyamat követésére), legutóbb pedig a nemzeti szabványokat az európai szabványok váltották fel. Mindez időszerűvé teszi a kérdéskör áttekintését.

2. BETON FAGY- ÉS OLVASZTÓSÓ-ÁLLÓSÁGÁNAK MEGÍTÉLÉSE AZ IRODALOMBAN

A beton, ill. a cementkő pórusai a környezet nedvességétől függően több-kevesebb vizet tartalmaznak. A pórusokban, kapillárisokban elhelyezkedő víz a felületi feszültség következtében nyomás alatt áll. A pórusméret csökkenésével a nyomás növekszik, a nyomás növekedésével a pórusvíz fagyáspontja (olvadáspontja) csökken (*1. táblázat*).

„A víz megfagyáskor szilárd állapotba (jéggé) alakul át, miközben térfogata mintegy 9 %-kal nő. A térfogat-növekedés hatására a még meg nem fagyott víz hidraulikus nyomás alá kerül, és megindul a víz áramlása az üres pórusokba, telítetlen üregekbe, lényegében a gélpórusok felől a kapilláris pórusok felé (diffúzió), ahol a jégtartalmat és annak nyomását tovább növeli. Ha a hidraulikus nyomás – akár külső (felmelegedés hatása), akár belső (légbuborékok hatása) okból – nem csökken, akkor a cementkőben olyan nagy nyomás alakulhat ki (-10 °C hőmérsékleten kb. 100 N/mm^2, -23 °C hőmérsékleten kb. 200 N/mm^2), amely a betont megrepeszti." (*Balázs*, 1997)

„A fagykár csak akkor kerülhető el, ha elegendő mennyiségű, vízzel ki nem töltött pórus van a betonban. A károsodást okozó víztartalom határértékét *kritikus telítettségnek* nevezzük. Ez a beton korától (hidratáció foka, pórusstruktúra), a pórusméret-eloszlástól (beleértve a mesterségesen képzett légbuborékokat is), a környezeti feltételektől (vízelpárolgás mértéke és sebessége), a lehűlés sebességétől, a fagyási-olvadási ciklusok gyakoriságától, a ciklusok közötti száradás mértékétől, a pótlólagos duzzadási terek kialakulásától stb. függ.

A cementkőváz gélpórusainak széles tartománya miatt a bennük lévő pórusvíznek csak kb. egyharmada fagy meg -30 °C hőmérsékleten, kétharmada -60 °C hőmérsékleten. A gélpórusok falát bevonó vékony vízfilm-réteg azután is megmarad, ha a pórusvíz teljesen jéggé fagyott." (*Ujhelyi*, 2005)

Setzer (1990, 2000, 2002) termodinamikai modelljében a vízdiffúziós hatást „*mikro-jéglencse pumpálás*"-nak nevezi. Minden lehűlés alkalmával az összehúzódó gélpórusokból („*fagyási zsugorodás*") a megnövekedett nyomás hatására víz (a cementkő gélpórusaiban -60 °C hőmérsékletig található meg nem fagyott víz) „pumpálódik a kapilláris pórusokba", és az ott lévő jeget („jéglencsét") növelve megfagy. Minden felmelegedés során a gélpórusrendszer tágul, visszaáll az eredetihez közeli nyomásállapot, a gélpórusokban a nyomás csökken, aminek hatására azok vizet vesznek fel azokból a kapillárisokból, amelyekben még van meg nem fagyott víz. Így alakul ki az ismétlődő, erős „fagy pumpálás" mindaddig, amíg a kapilláris pórusokban a *kritikus víztelítettség* létre nem jön. Ez magyarázza a kapilláris pórusok szerepét a fagyás–olvadás folyamatában, és indokolja a kapilláris pórusok mennyisége korlátozásának szükségességét a beton fagyállósága érdekében. *Setzer* a termodinamikai modellt megalapozó, gyakorlati tapasztalatokkal egyező kísérleti eredményeket a CDF/CIF (**C**apillary suction of **D**eicing solution and **F**reeze thaw test / **C**apillary suction, **I**nternal damage and **F**reeze thaw test) vizsgálati módszerekkel kapta.

„A téli sózás hatása hasonlít a fagyás hatásához. A hó és jég felolvasztásához hőenergiára van szükség, ezért a betonfelület közelében a kiszórt só hirtelen hőmérsékletcsökkenést okoz. A jelenséget hőlökésnek, a betont érő hatást *hősokknak* nevezzük. A hőlökés miatt a betonban feszültségek keletkeznek, és bekövetkezhet a betonfelület hámlása (fagyhámlás)." (*Balázs*, 1997)

„A betonban a sóoldat-koncentráció nem egyenletes. A legfelső, porózus (cementdúsabb) rétegekből a megelőző sózásokból visszamaradó sót az eső kimossa; e vízzel telített réteg fagyáspontja kb. 0 °C. Alatta sódús réteg következik, amelynek fagyáspontja sokkal kisebb. Ez alatt újból kisebb sótartalmú réteg következik, amelynek fagyáspontja ismét nagyobb. Sózáskor, hirtelen hőfokeséskor a beton legfelső és harmadik rétegének vize megfagy, a közbensőé nem. Ha a levegő tovább hűl, a sókoncentrációra és pórusméretre jellemző hőmérsékleten megfagy a közbenső réteg is, és ennek a rétegnek jég vagy

kapilláris nyomása, amely együtt is felléphet, lerepeszti a fölötte lévőt (réteges felfagyás)." (*Balázs*, 1997)

„A beton felületi hámlását (nem csak fagy, hanem általában hőmérsékleti ingadozások hatására) az a körülmény is elősegíti, hogy a beton felszínén mindig egy cementdúsabb habarcsréteg keletkezik, amelynek nagyobb a hőtágulási együtthatója, mint amekkora az a beton belsejében." (*Balázs*, 1997)

„A hőmérsékletcsökkenés függ a jég vastagságától, minőségétől, a só fajtájától és koncentrációjától. A hőmérsékletcsökkenés nő a jégvastagsággal. Állandó jégvastagság esetén közel arányosan nő a sókoncentrációval. Legnagyobb lehűlés az eutektikus sókoncentráció kialakulásakor keletkezik. *Eutektikusnak* azt a sókoncentrációt nevezzük, amelyben a négy komponens – az oldat, a jég, a só és a vízgőz – egyensúlyban van. Leggyakrabban használt jégolvasztó só a konyhasó (nátrium-klorid). A nátrium-klorid eutektikus hőmérséklete -21,3° C, a kalcium-kloridé -55 °C. A gyakorlati olvasztási határ-hőmérséklet konyhasóra -17 °C, kalcium-kloridra -45 °C. Ha ennél nagyobb a hideg, nincs olvasztó hatásuk, továbbá minél közelebb van a jég hőmérséklete ehhez a hőmérséklethez, annál kisebb a hatása. A konyhasó tehát legfeljebb -15 °C -ig használható. Az olvasztószer minőségétől és az olvasztandó anyagtól függ az az időtartam, amely a felsózástól a legnagyobb hőmérsékletcsökkenésig szükséges. Ez az idő a szokásos olvasztósókra jég olvasztásakor 80 – 120 másodperc, műszaki karbamid használata során jég olvasztásakor mintegy 15 másodperc." (*Balázs*, 1997)

„Az 1 mm vastag, -5 °C hőmérsékletű jégre szórt nátrium-klorid révén (ha mennyisége az eutektikus oldatnak megfelelő) 20 másodperccel a felszórás után egy 20 cm vastag betonlemez felső néhány mm-es kérgében 2 N/mm^2 körüli húzófeszültség keletkezik. A 2 mm vastag, -2 °C hőmérsékletű jég eutektikus oldatot jelentő mennyiségű nátrium-kloriddal való olvasztásakor majdnem 4 N/mm^2 a beton húzófeszültsége." (*Balázs*, 1997)

Az *1. – 4. ábrán* fagykárosodott betonok fényképeit mutatjuk be.

1. ábra: A betonozás és a téli fagyok beköszönte közötti rövid idő folytán szétfagyott monolit kitöltőbeton (*Bali Viktor* fényképe)

2. ábra: Kis forgalmi terhelésű útburkolat fagykárosodott felülete (*Kausay Tibor* fényképe)

3. ábra: Hídszegélyek réteges felfagyása (*Magyar Közút Kht. Győri Minőségvizsgálati Laboratóriumának* fényképei)

4. ábra: Aluljáró födém fagykárosodott homlokfelülete (*Kausay Tibor* fényképe)

1. táblázat: A pórusvíz fagyáspontja a pórusméret függvényében (*Balázs*, 1997 és *Zement Taschenbuch*, 2002 alapján szerkesztve)

Pórus		Pórusméret mértékegységek szerint					Pórusvíz fagyáspontja* kb. °C
		m	mm	μm	nm	Å	
		méter	milliméter	mikrométer	nanométer	ángström	
		1 m	10^{-3} m	10^{-6} m	10^{-9} m	10^{-10} m	
Durva pórus		$> 10^{-3}$	> 1	$> 10^{3}$	$> 10^{6}$	$> 10^{7}$	
Légpórus		$10^{-4} – 10^{-3}$	$10^{-1} – 1$	$10^{2} – 10^{3}$	$10^{5} – 10^{6}$	$10^{6} – 10^{7}$	0 – (-3)
Kapilláris pórus	makro	$3 \cdot 10^{-5} – 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-2} – 10^{-1}$	$3 \cdot 10 – 10^{2}$	$3 \cdot 10^{4} – 10^{5}$	$3 \cdot 10^{5} – 10^{6}$	0 – (-3)
	mezo	$10^{-6} – 3 \cdot 10^{-5}$	$10^{-3} – 3 \cdot 10^{-2}$	$1,0 – 3 \cdot 10$	$10^{3} – 3 \cdot 10^{4}$	$10^{4} – 3 \cdot 10^{5}$	(-3) – (-15)
	mikro	$10^{-7} – 10^{-6}$	$10^{-4} – 10^{-3}$	$0,1 – 1,0$	$10^{2} – 10^{3}$	$10^{3} – 10^{4}$	(-15) – (-20)
Gélpórus	makro	$3 \cdot 10^{-8} – 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-5} – 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-2} – 0,1$	$3 \cdot 10 – 10^{2}$	$3 \cdot 10^{2} – 10^{3}$	(-20) – (-40)
	mezo	$10^{-9} – 3 \cdot 10^{-8}$	$10^{-6} – 3 \cdot 10^{-5}$	$10^{-3} – 3 \cdot 10^{-2}$	$1 – 3 \cdot 10$	$10 – 3 \cdot 10^{2}$	(-40) – (-90)
	mikro	$< 10^{-9}$	$< 10^{-6}$	$< 10^{-3}$	< 1	< 10	(-90) – (-160)
Összes légbuborék (adalékszerrel képzett) mérete. (Mennyiségének jele: A_{750}, német nyelvterületen: L750)							
		$< 7,5 \cdot 10^{-4}$	$< 0,75$	$< 7,5 \cdot 10^{2}$	$< 7,5 \cdot 10^{5}$	$< 7,5 \cdot 10^{6}$	
Hatékony légbuborék (adalékszerrel képzett) mérete. (Mennyiségének jele: A_{300}, német nyelvterületen: L300)							
		$< 3 \cdot 10^{-4}$	$< 0,30$	$< 3 \cdot 10^{2}$	$< 3 \cdot 10^{5}$	$< 3 \cdot 10^{6}$	

* A pórusok hidrotechnikai viselkedése:

Durva pórus: Nincs benne számottevő víz

Légpórus és makro kapilláris pórus: Percek alatt felszívja a vizet

Mezo kapilláris pórus: Hetek alatt felszívja a vizet

Mikro kapilláris pórus: Kapilláris vízfelszívással nem telik meg teljesen vízzel

Makro és mezo gélpórus: Kondenzációval 50 – 98 % közötti relatív páratartalom esetén megtelik vízzel

Mikro gélpórus: Szorpcióval 50 % alatti relatív páratartalom esetén megtelik vízzel

Légbuborék: Kritikus víztelítettség mellett sem telik meg vízzel

3. A FAGY- ÉS OLVASZTÓSÓ-ÁLLÓ BETONOK KÖRNYEZETI OSZTÁLYAI

3.1. A környezeti osztályok fogalma

A fagyállóság a tartós és nagy teljesítőképességű betonok egyik lényeges ismérve. A beton a használati élettartam alatt akkor lesz *tartós*, ha a környezeti hatásokat károsodás nélkül viseli. Így a beton, vasbeton, feszített vasbeton szerkezetek építéséhez használt betonkeverékeknek rendeltetésük szerint illeszkedniük kell a környezeti hatásokat leíró környezeti osztályokhoz. A betonkeverékek rendeltetésük szerint általában akkor illeszkednek a környezeti hatásokat leíró környezeti osztályokhoz, ha összetételük megfelel az x_{max} megengedett legnagyobb víz-cement tényező, a c_{min} megkövetelt cementtartalom, a $Cf_{ck,cyl}/f_{ck,cube,min}$ (például legalább C30/37) megkövetelt beton nyomószilárdsági osztály, és a $\rho_{beton,friss,min}$ megkövetelt legkisebb, friss állapotban mért beton testsűrűséget meghatározó $V_{L,max}$ megengedett legnagyobb levegőtartalom határértékének. A fagy- és olvasztósó-álló betonok környezeti osztályoknak megfelelő követelményei a *2. táblázatban* találhatók.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint az XF1 környezeti osztályú, fagy hatásának kitett, függőleges felületű betonok, vasbeton és feszített vasbeton elemek és szerkezetek betonját szabad légbuborékképző adalékszer nélkül készíteni. A fagy és olvasztósó hatásának kitett, XF2 és XF4 környezeti osztályú, és a csak fagyhatásnak kitett XF3 környezeti osztályú betonokra az MSZ 4798-1:2004 szabvány F1. táblázata – az útpálya betonokra elfogadott előírásokból kiindulva – kimondja, hogy Magyarországon az ilyen környezeti osztályú betonokat légbuborékképző adalékszer nélkül készíteni nem szabad. Az MSZ EN 206-1:2002 szabvány ebben a kérdésben nem ilyen szigorú, ugyanis a szabvány F1. táblázata szerint, ha az XF2, XF3, XF4 környezeti osztályú „betonban nincs mesterséges légbuborék, akkor a beton teljesítőképességét megfelelő módszerrel meg kell vizsgálni olyan betonnal összehasonlítva (tudniillik a „vizsgált" betonon és az azzal együtt fagyasztott, jellegzetesen fagyállónak ismert „referencia" betonon mért tulajdonságokat összehasonlítva), amelyre az adott környezeti osztály esetén a fagyás/olvadás állóságot bebizonyították". Magyarországon is tapasztalat, hogy fagy- és olvasztósó-álló (nem útpálya) betont kellő összetétellel és tömörítéssel az XF2 és XF3 környezeti osztályokban légbuborékképző adalékszer alkalmazása nélkül is lehet készíteni, sőt vasbeton és feszített vasbeton tartószerkezetek készítése során a légbuborékképző adalékszer használata akár kedvezőtlen is lehet (nő a beton porozitása, csökken a nyomószilárdsága és testsűrűsége).

Ezért *mindazon esetekben, amikor valamely – nem út- és repülőtéri pálya – betonra vagy termékre vonatkozó szabvány, műszaki előírás, irányelv vagy utasítás a fagy- és olvasztósó-álló beton készítéséhez a légbuborékképző adalékszer alkalmazását kötelezően nem írja elő* (például az MSZ EN 206-1:2002), *akkor szabad fagy- és olvasztósó-álló betont légbuborékképző adalékszer alkalmazása nélkül is készíteni.* Ezt megengedi például a DIN 1045-2:2001 szabvány (az EN 206-1:2000 szabvány német nemzeti alkalmazási dokumentuma) is, amely a fagy- és olvasztósó-álló beton egyik változataként a légbuborékképző adalékszer nélkül készülő betonra külön XF2 és XF3 környezeti osztályt is megad. Ezeket a környezeti osztályokat XF2(BV-MI) és XF3(BV-MI) jelekkel szerkezeti (nem útpályaszerkezeti) betonok esetén Magyarországon is alkalmazhatjuk (BV-MI 01:2005 beton- és vasbetonépítési műszaki irányelv, lásd a hivatkozások jegyzékét).

A *2. táblázatban* a fagy és olvasztósó hatásának kitett betonok e felfogás szerint bővített környezeti osztályai szerepelnek. A fagy és olvasztósó hatásának ellenálló betonok környezeti osztályainak főbb jellemzőit a *3. táblázatban* tekintjük át.

2. táblázat: A fagy- és olvasztósó-álló betonok környezeti osztályoknak megfelelő követelményei

Alkalmazási terület	Környezeti osztály jele	Beton nyomó-szilárdsági osztálya, legalább	Beton cement-tartalma, legalább, kg/m^3	Beton víz-cement tényezője, legfeljebb	Összes levegőtartalom a friss betonban, térfogat%
Függőleges felületű beton és vasbeton szerkezetek					
Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli fagyálló beton	XF1	C30/37	300	0,55	≤ 1,5
	Légbuborékképző adalékszer **nélkül** készül a beton.				
Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sók permetének kitett fagyálló beton	XF2	C25/30	300	0,55	4,0 – 8,0
	Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton. Az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke a friss betonban = a fagy- és olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4,0 térfogat%) + max. 4,0 térfogat%.				
	XF2(BV-MI)	C35/45	320	0,50	≤ 1,0
	Légbuborékképző adalékszer nélkül készül a beton. Alkalmazása út- és repülőtéri burkolatok, híd pályalemezek esetén **tilos**!				
Vízszintes felületű beton és vasbeton szerkezetek					
Vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli fagyálló beton	XF3	C30/37	320	0,50	4,0 – 8,0
	Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton. Az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke a friss betonban = a fagy- és olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4,0 térfogat%) + max. 4,0 térfogat%.				
	XF3(BV-MI)	C35/45	320	0,50	≤ 1,0
	Légbuborékképző adalékszer nélkül készül a beton. Alkalmazása út- és repülőtéri burkolatok, híd pályalemezek esetén **tilos**!				
Vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sóknak közvetlenül kitett, fagyálló beton (út- és repülőtéri burkolatok, híd pályalemezek stb.)	XF4	C30/37	340	0,45	4,0 – 8,0
	Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton. Az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke a friss betonban = a fagy- és olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4,0 térfogat%) + max. 4,0 térfogat%.				

1. Megjegyzés: A friss beton levegőtartalma feszített vasbeton esetén a táblázatban foglalt értékeknél 0,5 térfogat%-kal legyen kisebb. Ha a beton újrahasznosított adalékanyaggal készül, akkor a levegőtartalom a táblázatban szereplő értékeknél 0,5 térfogat%-kal nagyobb lehet.

2. Megjegyzés: Az osztrák ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 5.4.3. és 5.5.5. szakaszában, valamint NAD 10. táblázatában előírják a légbuborékos fagy- és olvasztósó-álló betonok összes levegőtartalmát a friss cementpépben és a friss betonban, ill. péptelített betont feltételezve az adalékanyag legnagyobb szemnagyságára (zárójelben az MSZ 4798-1:2004 szabványnak megfelelő D_{max} érték) vetítve a friss betonban, valamint a megszilárdult fagy- és olvasztósó-álló betonok hatékony légbuboréktartalmát és távolsági tényezőjét a következőképpen:

Környezeti osztály	XF2 és XF3	XF4
Összes levegőtartalom a *friss cementpépben*, legalább, térfogat%	9,0	13,0
Összes levegőtartalom a *friss betonban*, legalább, térfogat%	2,5	4,0
Összes levegőtartalom a *friss betonban*, legfeljebb, térfogat%	2,5 + 4,0 = 6,5 *	4,0 + 4,0 = 8,0
Legnagyobb szemnagyság, mm	Összes levegőtartalom a *friss betonban*, térfogat%	
4	4,0 – 6,0	7,0 – 11,0
8 és 11 (12)	4,0 – 6,0	6,0 – 10,0
16	3,0 – 5,0	4,5 – 8,5
22 (24) és 32	2,5 – 5,0	4,0 – 8,0
63	2,0 – 4,0	3,0 – 7,0
* Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 5.4.3. szakasza és NAD 10. táblázata szerint az XF2 és XF3 környezeti osztályban az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke 5,0 térfogat%, hacsak a kezdeti vizsgálat során meg nem győződtek arról, hogy a betonra vonatkozó valamennyi követelmény nagyobb levegőtartalom esetén is betartható.		
0,3 mm-nél kisebb névleges átmérőjű (hatékony) légbuborékok mennyisége a *szilárd betonban* (jele: L300), térfogat%	1,0 – 3,0 **	1,8 – 5,0
Távolsági tényező a *szilárd betonban* (jele: AF), legfeljebb, mm	–	0,18
** Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 5.5.5. szakasza szerint az XF2 és XF3 környezeti osztályban a hatékony légbuborékok mennyisége akkor lehet 3,0 térfogat%-nál több, ha az 5,0 térfogat% feletti összes levegőtartalom ártalmatlanságát igazolták.		

2. táblázat folytatása

3. Megjegyzés: A TL Beton-StB 07 német útbeton műszaki szállítási feltétel 4.7. szakasza szerint a friss beton összes, átlagos levegőtartalma 8 mm legnagyobb szemnagyság esetén legalább 5,5 térfogat%, 16 mm legnagyobb szemnagyság esetén legalább 4,5 térfogat%, 22 mm, ill. 32 mm legnagyobb szemnagyság esetén legalább 4,0 térfogat% legyen. Az egyes mért értékeknek legfeljebb 0,5 térfogat%-kal szabad kisebbnek lenniük, mint az átlag követelményérték.

Ha a képlékeny konzisztenciájú betont képlékenyítő vagy a kissé képlékeny konzisztenciájú betont folyósító adalékszerrel állítják elő, akkor a friss beton megkövetelt összes, átlagos levegőtartalma a fenti követelményértékeknél 1,0 térfogat%-kal nagyobb.

Ha a kezdeti vizsgálat (lásd az MSZ EN 206-1:2002 szabvány 3.1.41. szakaszát, „A" mellékletét stb.) során a szilárd beton légbuboréktartalmát meghatározták, és hatékony légbuborékok mennyisége elérte az A_{300} = 1,8 térfogat%-ot (lásd az *1. táblázatot)*, a távolsági tényező pedig nem lépte túl az AF = 0,20 mm-t, akkor a friss beton összes levegőtartalmára a fenti követelmény érvényes. Egyébként a kezdeti vizsgálat szerint friss beton összes, átlagos levegőtartalmának legfeljebb 0,5 térfogat%-kal szabad a fenti követelményértékeknél nagyobbnak lennie.

Folyós konzisztencia esetén a szilárd beton légbuboréktartalmát mindig meg kell határozni.

3. táblázat: Fagyálló, ill. fagy- és olvasztósó-álló betonok környezeti osztályainak főbb jellemzői

Környezeti osztály	**Olvasztósó hatás éri a betont**	**A beton felülete**	**Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton**
XF1	Nem	Függőleges	Nem
XF2	Igen	Függőleges	Igen
XF3	Nem	Vízszintes	Igen
XF4	Igen	Vízszintes	Igen
XF2(BV-MI)	Igen	Függőleges	Nem
XF3(BV-MI)	Nem	Vízszintes	Nem

Az építési célnak – beleértve a tartósságot is – csak a kellően bedolgozott, megkövetelt tömörségű, zárványmentes beton felel meg, ezért a bedolgozott friss beton levegőtartalmát korlátozni kell. *Magyarországon a közönséges friss beton bennmaradt levegőtartalmának* (a levegőzárványoknak) *tervezési értéke általában legfeljebb 2,0 térfogat%. A légbuborékképző adalékszer nélkül készülő friss beton levegőtartalma függőleges felületű fagyálló beton esetén ne legyen több, mint 1,5 térfogat%* (XF1), *vízszintes felületű fagyálló beton* [XF3(BV-MI)] *esetén és függőleges felületű fagy- és olvasztósó-álló beton esetén* [XF2(BV-MI)] *pedig mint 1,0 térfogat%.*

A légbuborékképző adalékszerrel készített fagyálló, ill. fagy- és olvasztósó-álló beton (XF2, XF3, XF4 környezeti osztály) *esetén az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke a fagy- és olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4 térfogat%) + max. 4,0 térfogat%, de ne haladja meg az adalékanyag legnagyobb szemnagysága függvényében megadott osztrák határértéket (2. táblázat*), mert 1,0 térfogat% légpórustartalom növekedés 4-5 % beton nyomószilárdság csökkenést okoz.

A bedolgozott *friss beton levegőtartalmát* vagy az MSZ EN 12350-7:2000 szabvány szerinti nyomásmódszerek valamelyikével lehet megmérni, vagy – ha ismerik, mint kellene, akkor – a bedolgozott friss beton tényleges és tervezett testsűrűségének hányadosából, valamint az összetevők tervezett tömegéből – feltételezve, hogy a bemérttel azonos – és sűrűségéből, ill. testsűrűségéből lehet számítani.

Az 1 m^3 térfogatú bedolgozott friss beton tényleges levegőtartalma a friss beton tényleges és tervezett testsűrűsége, a beton tervezett cementtartalma, tervezett víz-cement tényezője, tervezett adalékanyag-tartalma, valamint a cement anyagsűrűsége és az adalékanyag testsűrűsége alapján – feltételezve, hogy a beton keverési aránya a tervezettnek megfelel – a következőképpen számítható ki:

$$V_{\ell,test} = 1000 - \frac{\rho_{friss\ beton,\ test}}{\rho_{friss\ beton}} \cdot \left(\frac{1000 M_c}{\rho_c} + x \cdot M_c + \frac{1000 M_a}{\rho_a} \right) \quad [liter]$$

ahol:

$V_{\ell,test}$ = a friss beton tényleges levegőtartalma, liter

$\rho_{friss\ beton,\ test}$ = a friss beton tényleges testsűrűsége, kg/m^3

$\rho_{friss\ beton}$ = a friss beton tervezett testsűrűsége, kg/m^3

M_c = a beton tervezett cementtartalma, kg/m^3

x = a beton tervezett víz-cement tényezője

$M_v = x \cdot M_c$ = a keverővíz tervezett tömege, kg/m^3

M_a = a beton tervezett adalékanyag-tartalma, kg/m^3

ρ_c = a cement anyagsűrűsége, kg/m^3

ρ_a = az adalékanyag keverék szemeinek súlyozott testsűrűsége kiszárított állapotban, kg/m^3:

$$\rho_a = \frac{1}{\left(\frac{\alpha}{\rho_\alpha} + \frac{\beta}{\rho_\beta} + \frac{\gamma}{\rho_\gamma} + \ldots\right)} \qquad [kg/m^3]$$

ahol:

$\alpha, \beta, \gamma \ldots$ = az adalékanyag keveréket alkotó frakciók tömegaránya, 0 és 1 közé eső nevezetlen szám, és $\alpha + \beta + \gamma + \ldots = 1{,}0$

$\rho_\alpha, \rho_\beta, \rho_\gamma \ldots$ = az adalékanyag keveréket alkotó frakciók szemeinek átlagos testsűrűsége kiszárított állapotban, kg/m^3

A ρ_a súlyozott testsűrűséget kell használni az adalékanyag keverékre akkor is, ha annak természetes adalékanyag frakciói különböző kőzetfajtájúak (például homok, kavics, mészkő, andezit vagy bazalt zúzottkő stb.).

Például az XF3 környezeti osztályú, M_c = 320 kg/m^3 tervezett cementtartalmú, x = 0,5 tervezett víz-cement tényezőjű, M_a = 1810 kg/m^3 tervezett adalékanyag-tartalmú, 5,1 térfogat% tervezett összes levegőtartalmú, bedolgozott állapotban $\rho_{\text{friss beton}}$ = 2290 kg/m^3 tervezett és $\rho_{\text{friss beton, test}}$ = 2278 kg/m^3 tényleges testsűrűségű, légbuborékos friss beton tényleges levegőtartalma ($V_{\ell,\ test}^{\%}$), ha a cement anyagsűrűsége ρ_c = 3100 kg/m^3, és az adalékanyag keverék testsűrűsége ρ_a = 2640 kg/m^3:

$$V_{\ell,\ test} = 1000 - \frac{2278}{2290} \cdot \left(\frac{1000 \cdot 320}{3100} + 0{,}5 \cdot 320 + \frac{1000 \cdot 1810}{2640}\right) =$$

$$= 1000 - 0{,}995 \cdot (103{,}23 + 160 + 685{,}61) = 56{,}1 \quad [liter]$$

$$V_{\ell,\ test}^{\%} = 100 \frac{V_{\ell,\ test}}{1000} = 5{,}61 \quad [térfogat\ \%]$$

ahol:

a cement által elfoglalt tervezett térfogat: V_c = 320/3,1 = 103,23 liter,

a víz által elfoglalt tervezett térfogat: V_v = 160 liter,

az adalékanyag által elfoglalt tervezett térfogat: V_a = 1810/2,64 = 685,61 liter,

a betonösszetevők által elfoglalt tervezett térfogat: $V_c + V_v + V_a$ = 948,84 liter,

a tervezett levegőtartalom: V_ℓ = 51 liter, azaz 5,1 térfogat%,

a betonösszetevők által ténylegesen elfoglalt térfogat: $0{,}995 \cdot (V_c + V_v + V_a)$ = 943,87 liter,

a tényleges levegőtartalom: $V_{\ell,\ test}$ = 1000 – 943,9 = 56,1 liter, azaz $V_{\ell,\ test}^{\%}$ = 5,6 térfogat%,

az összes térfogat:

$V_c + V_v + V_a + V_\ell = (\rho_{friss\ beton,\ test} / \rho_{\ friss\ beton}) \cdot (V_c + V_v + V_a) + V_{\ell,test}$ = 1000 liter,

a tényleges cementtartalom: $(\rho_{friss\ beton,\ test} / \rho_{\ friss\ beton}) \cdot V_c = 0{,}995 \cdot 320 = 318{,}4$ kg/m^3.

A levegőtartalomra vonatkozó követelmény teljesítésének érdekében a beton nyomószilárdságának ellenőrzésére készített *bedolgozott friss beton próbatestek átlagos testsűrűségének* (ha egy próbatest egy mintát alkot), ill. a több próbatest alkotta minták átlagos testsűrűségeinek átlagaként meghatározott testsűrűségnek a bennmaradt levegőtartalom (levegőzárványok) miatt *nem szabad kisebbnek lennie, mint a friss beton tervezett testsűrűsége*. E feltétel teljesülése mellett közönséges beton esetén *a bedolgozott friss beton próbatestek egyedi testsűrűségének* a tervezett testsűrűségnél legfeljebb 30 kg/m^3-rel szabad kisebbnek lennie. *Minden 1 % testsűrűség hiány 10 liter/m^3 többletlevegőt, azaz a tervezetthez képest +1 térfogat% levegőtartalmat jelent, amely 4-5 % nyomószilárdság csökkenést okoz*, ezért a megfelelő betonösszetétel, konzisztencia és tömörítési módszer a betonkészítés alapvető követelménye (MSZ 4798-1:2004). A nyomószilárdság vizsgálati, egy vagy több *megszilárdult beton próbatest alkotta minták testsűrűségének terjedelme ne legyen nagyobb átlaguk 3 %-ánál*. E feltételeknek meg nem felelő friss és megszilárdult beton próbatesteket a nyomószilárdság vizsgálati eredmények értékelésébe nem szabad bevonni. Ha adott keverék esetén az alkalmazott tömörítéssel e feltételek nem teljesíthetők, akkor egyrészt a tömörítés módját felül kell vizsgálni, másrészt – feltételezve a friss próbatestek és a szerkezetbe bedolgozásra kerülő friss beton közelítőleg azonos tömörségét – a betonösszetételt a helyszíni tömörítési módhoz igazítva át kell tervezni.

3.2. Példa a környezeti osztályok társítására

A betont általában egyidejűleg több környezeti hatás éri, ilyenkor a környezeti hatás követelményét a környezeti osztályok társításával kell kifejezni. Például valamely esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli, agresszív talajvízzel érintkező, (enyhén) vízzáró vasbeton támfal légbuborékképző adalékékszer nélkül, szulfátálló cementtel készülő betonjának környezeti osztály csoportja: XC4, XF1, XA2, XV1(H) (*4. táblázat*).

4. táblázat: Példa a környezeti osztály csoport követelményére

Környezeti osztály jele	Beton nyomó-szilárdsági osztálya, legalább	Beton cement-tartalma, legalább, kg/m^3	Beton víz-cement tényezője, legfeljebb	Friss beton levegőtartalma, legfeljebb, térfogat%
XC4	**C30/37**	300	**0,5**	2,0
XF1	**C30/37**	300	0,55	1,5
XA2	**C30/37**	**320**	**0,5**	2,0
XV1(H)	C25/30	300	0,6	**1,0**
Társított környezeti osztályok mértékadó követelménye	**C30/37**	**320**	**0,5**	**1,0**

A *4. táblázat* szerinti példában az XC4, XF1, XA2, XV1(H) környezeti osztályokat egy csoportba foglaltuk. Oszloponként képeztük az egyes előírt tulajdonságokra vonatkozó mértékadó követelményt (például a nyomószilárdsági osztályra vonatkozólag C30/37), amelyek összessége (példánk szerint rendre: C30/37; 320 kg/m^3; 0,5; 1,0 térfogat%) a társított környezeti osztályok (a környezeti osztályok csoportjának) mértékadó követelménye.

Az erőtani számítás eredménye alapján megállapított nyomószilárdsági osztály és a környezeti feltételek alapján megkövetelt mértékadó nyomószilárdsági osztály eltérő lehet. Az erőtani számítás szerint szükséges és a környezeti hatások szerint mértékadó nyomószilárdsági osztály közül (a *4. táblázat* példája esetén C30/37) *a nagyobbat kell alkalmazni*, és az ehhez tartozó cementtartalmat, víz-cement tényezőt, megengedett friss beton levegőtartalom által megkövetelt testsűrűséget kell a betongyártáshoz követelményként

előírni. Valamennyi előírt érték elégítse ki a társított környezeti osztályok megfelelő feltételének a mértékadó követelményét is (például az előírt víz-cement tényező a *4. táblázatbeli* példa esetén ne legyen nagyobb, mint 0,5).

4. FAGY- ÉS OLVASZTÓSÓ-ÁLLÓ BETONOK ÉS ÖSSZETEVŐIK TULAJDONSÁGAI

A fagy hatásának vagy a fagy és olvasztósó hatásának kitett betonoknak ki kell elégíteniük a 2. táblázat szerinti környezeti osztályok követelményét (MSZ 4798-1:2004), és általában ki kell állniuk a fagy- és olvasztósó-állósági vizsgálatot is (lásd *5. fejezet*).

Ha a beton nincs olvasztósó hatásának kitéve és felülete függőleges (XF1 környezeti osztály), akkor az érdekelt felek megegyezése esetén a fagyállóságot szabad közvetett módon, a betonösszetétel határértékeivel előírni.

A beton fagyállósága jelentős mértékben függ a környezeti körülményektől (pl. a kritikus víztelitettség esélyétől), a beton összetevőinek tulajdonságától és a beton struktúrájától, beleértve a légbuborékképző adalékszerrel bevitt légbuborékok méretét és eloszlását is.

A fagyálló beton készítésének feltétele a környezeti osztályok követelményén kívül a fagyálló adalékanyag, a megfelelő cement és légbuborékképző adalékszer alkalmazása, a hosszas utókezelés, a betonozás és a tél bekövetkezte közötti hosszú idő.

4.1. Adalékanyag megfelelősége

Az MSZ EN 12620:2003 betonadalékanyag szabvány szerint a durva (2 mm feletti) adalékanyagok fagy- és olvasztósó-állóságát közvetlen fagyállóság vizsgálattal és közvetett módon, szulfátos kristályosítási vizsgálattal lehet meghatározni. A szabvány F melléklete a kőzettani és a vízfelvétel vizsgálatot ún. elővizsgálatnak nevezi, amelyek kimutathatják a kőanyag fagyérzékenységét, és az elővizsgálatok követelményét kielégítő kőanyagokat fagyállónak tekinti. A fagyállónak tekintett kőanyagra nézve számszerű követelmény, hogy az MSZ EN 1097-6:2001 szerint meghatározott vízfelvétele nem haladhatja meg az 1 tömeg%-ot.

4.1.1. Közvetlen fagyállóság

A homokos kavics adalékanyag fagyállóságát hazánkban nem szokás vizsgálni, bár lehet, hogy ezt a gyakorlatot a jövőben felül kell vizsgálni.

Az MSZ EN 12620:2003 szabvány a durva (2 mm feletti) adalékanyagokra közvetlen fagyállóság vizsgálati módszerként az MSZ EN 1367-1:2007 szerinti fagyállóság és fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot írja elő. Ezt a vizsgálatot a DIN 1045-2:2001 szabvány (amely a DIN EN 206-1:2007 szabvány német nemzeti alkalmazási dokumentuma) az XF1 és XF3 környezeti osztályú betonok adalékanyagára írja elő.

A MSZ 1367-1:2007 szerinti fagyállóság vizsgálat elve, hogy az adott szemnagyságú adalékanyag légköri nyomáson vízzel telített vizsgálati adagjait lezárt fedelű dobozban, desztillált vízzel borítva, 10 fagyás-olvadás ciklusnak kell kitenni. (Az előírt 10 ciklus a hazai mérsékeltövi kontinentális éghajlati körülmények között nem elegendő.) A ciklus 4 órán át tartó (-17,5 ± 2,5) °C hőmérsékleten való, víz alatt történő fagyasztásból, utána (20 ± 3) °C hőmérsékletű vízfürdőben való felolvasztásból, és köztük felmelegítési és lehűtési szakaszokból áll. A vizsgálat ciklus ideje 24 óra. A hűtőszekrényt a hűtött felület közepén álló lezárt doboz közepének hőmérséklete segítségével kell szabályozni. A váltakozó fagyasztás-olvasztás befejezése után a kőanyaghalmaz változásait (repedésképződés, aprózódás, adott esetben szilárdságváltozás) meg kell vizsgálni. Veszteségnek az alsó szemnagysághatár felező szitáján áthullott vizsgálati anyagot kell tekinteni. A fagyállósági osztályok aprózódási veszteségre vonatkozó határértékei 1, 2 és 4 tömeg%.

A TL Beton-StB 07:2007 és a TL Gestein-StB 04:2007 német útbeton műszaki szállítási feltétel útstabilizáció, hidraulikus kötőanyagú és beton teherhordó réteg kőanyagára legfeljebb 4,0 tömeg%, alapbeton kőanyagára legfeljebb 2,0 tömeg% fagyállósági aprózódási veszteséget enged meg. Megjegyzendő, hogy a TP Gestein-StB:2008 német útépítési kőanyag vizsgálati előírás 6.3.1. szakasza pontosítja az EN 1367-1 szabvány 7.2. szakaszát, és eszerint $D \leq 31,5$ mm legnagyobb szemnagyság esetén célszerű 8/11,2 mm-es szemnagyságú kőanyag mintát, $D > 31,5$ mm legnagyobb szemnagyság esetén célszerű 31,5/45 mm-es szemnagyságú kőanyag minta fagyállóságát vizsgálni.

Ha az adalékanyagból olvasztósó hatásának kitett szerkezet készül, akkor az MSZ EN 12620:2003 szabvány ajánlását követve indokolt a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot az MSZ EN 1367-1:2007 szabvány B mellékletében jelzett, 1 %-os nátrium-klorid oldat vagy telített karbamid oldat alkalmazásával elvégezni. Ennek eredményére nincsenek követelmény értékek, ill. osztályok előírva, a vízben történő fagyasztáshoz tartozó követelmények és osztályok nem érvényesek. Az 1 %-os nátrium-klorid oldat és 10 ciklus alkalmazásával végzendő fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat részletes leírását a prEN 1367-6:2006 szabványtervezet tartalmazza (lásd még DIN EN 1367-6:2008). Megjegyezzük, hogy *a legnagyobb fagykárosodást nem az 1 %-os, hanem a 3 %-os nátrium-klorid oldat okozza,* ahogy azt a betonok (lásd a *7. táblázatot*) vagy betontermékek (például MSZ EN 1339:2003) vizsgálata során alkalmazzák is, *a 10 fagyasztási ciklus pedig hazai időjárási viszonyaink közepette kevés.*

Megjegyezzük, hogy a betonadalékanyag fagy- és olvasztósó-állóságának vizsgálatára a TL Beton-StB 07:2007 és a TL Gestein-StB 04:2007 német útbeton műszaki szállítási feltétel szintén az EN 1367-1:2007 szabvány B mellékletében jelzett közvetlen vizsgálatot ajánlja, de követelményértéket vagy osztályt a megengedett aprózódási veszteségre az európai vizsgálati szabványhoz hasonlóan nem ad.

A TP Gestein-StB:2008 német útépítési kőanyag vizsgálati előírás 6.3.3. szakasza a 0,71/2,0 mm szemnagyságú finom kőanyagok közvetlen fagyállóság, illetve fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatával foglalkozik. a vizsgálati folyadék sómentes víz, vagy víz 5 ezrelékes nátrium-klorid vagy etilén-glikol oldata, vagy más folyadék lehet. Az előírás követelményértéket nem ad meg.

4.1.2. Közvetett fagyállóság, szulfátos kristályosítás

Az MSZ EN 13242:2003 és az MSZ EN 12620:2003 szabvány a durva (2 mm feletti) betonadalékanyagokra közvetett fagyállóság vizsgálati módszerként az MSZ EN 1367-2:1999 szerinti magnéziumszulfát oldatos kristályosítási vizsgálatot írja elő.

Az MSZ 18293:1979 homokos kavics termékszabvány csak a kavicsból tört termékek fagyállóság vizsgálatát írta elő közvetett módszerrel, az MSZ 18289-3:1978 vizsgálati szabvány szerinti nátrium-szulfátos és magnézium-szulfátos kristályosítással, amelyet később az MSZ 18289-3:1985 vizsgálati szabvány szerinti eljárás váltott fel.

Ugyancsak szulfátos kristályosítással vizsgáltuk az MSZ 18291:1978 termékszabvány szerinti zúzottköveket. A vizsgálati minta szemnagysághatárai 2 – 80 mm közé estek. A mintát 16-20 órára kellett a szulfátos oldatba meríteni, ezt félórás csöpögtetés, (105 ± 5) °C hőmérsékleten 4-5 órás szárítás, majd 1 órás hűtés követte. A vizsgálat időigénye lényegében napi 1 ciklus volt, az 5 ciklusból álló vizsgálatot 5 munkanap alatt lehetett elvégezni. A vizsgálat eredményét az alkalmazott alsó szemnagysághatárú szitán áthullott, aprózódott kőanyag tömeg%-a adta, amelynek alapján a termékszabványok a zúzottkavics vagy zúzottkő terméket kőzetfizikai osztályba sorolták. A követelmény az MSZ 18291:1978 nemzeti szabványban laza volt, a fagyállónak tekintett kőanyagok „A” kőzetfizikai osztályában a megengedett aprózódási veszteség nátrium-szulfát oldatban 10 tömeg%, magnézium-szulfát oldatban 15 tömeg%, a „B” kőzetfizikai osztályban 15, ill. 20 tömeg%, a „C” kőzetfizikai osztályban 20, ill. 30 tömeg%.

Az útépítőipar a szulfátoldatos kristályosítási módszereket 1991-ben átvette (MSZ-07-3114:1991), majd 1998-ban (ÚT 2-3.601:1998) a nátrium-szulfátos vizsgálatot elvetette, a magnézium-szulfátos vizsgálat követelményét az MSZ 18291:1978 szabványhoz képest szigorította: „A" kőzetfizikai osztályban legfeljebb 10 tömeg%, a „B" kőzetfizikai osztályban legfeljebb 15 tömeg%, a „C" kőzetfizikai osztályban 20 tömeg% aprózódási veszteséget engedett meg (ÚT 2-3.601:1998 és ÚT 2-3.601:2006).

Az útépítési aszfaltkeverékek és felületi bevonatok zúzottköveire és zúzottkavicsaira 2008-ban új útügyi műszaki előírás készült (ÚT 2-3.601-1:2008), amelyben a magnézium-szulfátos kristályosítási (aprózódási) veszteség megengedett értéke – követve az MSZ EN 13242:2003 aszfaltadalékanyag szabványt – legfeljebb 18 tömeg%, ill. legfeljebb 25 tömeg%. E követelmény értékek még a régi nemzeti előírás (MSZ 18291:1978) követelményeinél is lazábbak.

Ugyanígy nagyon laza az MSZ EN 12620:2003 betonadalékanyag szabvány követelménye, amely a magnézium-szulfátos kristályosítási veszteség megengedett értékeire a különböző osztályokban rendre 18, 25 és 35 tömeg%-ot enged meg. (Érdekes, hogy a betonadalékanyag magnézium-szulfátos kristályosítási aprózódási veszteségére a TL Beton-StB 07:2007 és a TL Gestein-StB 04:2007 német útbeton műszaki szállítási feltétel nem ír elő követelményértéket. A DIN 1045-2:2001 szabvány szerint az EN 1367-2 vizsgálati szabvány szerinti magnézium-szulfátos kristályosítást az XF2 és XF4 környezeti osztályú betonok adalékanyaga esetén kell elvégezni.)

Az MSZ EN 1367-2:1999 szerinti magnéziumszulfát oldatos kristályosítási vizsgálat 2 óra (20 ± 5) °C-on történő csepegtetésből, 23-25 óra (110 ± 5) °C-on való szárításból, 5 óra (20 ± 5) °C-on történő hűtésből, 17 óra (20 ± 2) °C-on való áztatásból áll. A ciklusidő (48 ± 2) óra, a ciklusok száma 5, a vizsgálat tehát 10 napig tart.

Az MSZ EN 13242:2003 és az MSZ EN 12620:2003 termék, ill. az MSZ EN 1367-2:1999 vizsgálati szabvánnyal az a gond, hogy az utóbbi 10-14 mm szemnagyságú vizsgálati anyagot ír elő, és az ezt alkalmazó eljárást tekinti referencia módszernek, márpedig a 10-14 mm vizsgálati szemnagyság miatt a referencia vizsgálat terméken általában nem alkalmazható. A termékek kristályosítási vizsgálatát *alternatív módszerrel* lehet végezni, és ezt voltaképpen az MSZ EN 1367-2:1999 szabvány is megengedi (lásd a szabvány 8.1. szakaszának megjegyzését és B mellékletét). Az alternatív vizsgálatot írja elő az MSZ 4798-1:2004 nemzeti betonszabvány az 5.1.3. szakaszban, és az új ÚT 2-3.601-2:2009 betonadalékanyag útügyi műszaki előírás is megengedi a 4.3.1. szakaszban, ha a felhasználó vagy a megrendelő a tényleges termékfrakció fizikai tulajdonságát kívánja meghatározni, és a vizsgálandó termék szemnagysága kívül esik a 10-14 mm-es referencia-minta szemnagysághatárokon.

Az alternatív magnézium szulfátos kristályosítási aprózódást a zúzottkő és zúzottkavics termékek névleges felső méret (D) feletti és névleges alsó méret (d) alatti szemeinek eltávolítása után maradó vizsgálati mintán kell meghatározni az MSZ EN 1367-2 szabvány szerint, annak B melléklete szellemében, mint azt az MSZ 4798-1:2004 szabvány előírja, a hazai termékfrakciók szemnagyságához igazítva. A vizsgálati minta szemnagysága és a vizsgálati adag tömege alternatív magnézium-szulfátos kristályosítási vizsgálat esetén az ÚT 2-3.601-2:2009 útügyi műszaki előírás M5.6. táblázata szerinti legyen (*5. táblázat)*.

Ezzel kapcsolatban fontos megjegyeznünk, hogy az MSZ EN 12620:2003 szabvány 5.1. szakaszának 3. megjegyzésében az adalékanyagok alkalmazása – fizikai tulajdonságok szerinti – feltételeinek szabályozását nemzeti hatáskörbe utalja.

Magyarországon a betonadalékanyagként alkalmazott zúzottkövek és zúzottkavicsok esetén – beleértve a betonútépítéshez használtakat is (ÚT 2-3.601-2:2009) – az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD 5.2. táblázata szerinti, klimatikus viszonyainkra tekintettel az európainál szigorúbb magnézium-szulfátos kristályosítási követelmény értékek (legfeljebb 5, 10, 15 tömeg% stb. aprózódási veszteség) érvényesek, amelyek teljesülését – a vevő

ellenőrzési jogát nem sértve – *alternatív vizsgálattal*, tehát a mindenkori termékből előállított vizsgálati mintán kell meghatározni.

5. táblázat: Vizsgálati minta szemnagysága és a vizsgálati adag tömege alternatív magnézium-szulfátos kristályosítási vizsgálat esetén

Zúzottkő és zúzottkavics frakciók jele	Vizsgálati minta szemnagysága mm	Vizsgálati adag tömege g
KZ 2/4	2 – 4	200 – 210
KZ 4/8	4 – 8	200 – 210
KZ 8/11	8 – 11	300 – 310
KZ 11/16	11 – 16	500 – 520
KZ 16/22	16 – 22	600 – 630
KZ 22/32	22 – 32	800 – 830
NZ 0/4	2 – 4	200 – 210
NZ 4/11	4 – 11	250 – 260
NZ 11/22	11 – 22	550 - 570
NZ 22/32	22 – 32	800 – 830
NZ 32/56	32 – 45	800 – 830
Z 0/4	2 – 4	200 – 210
Z 0/11	Szét kell szitálni (2 – 4) és (4 – 11) mm szemnagyságú részmintára	
Z 0/22	Szét kell szitálni (2 – 4), (4 – 11) és (11 – 22) mm szemnagyságú részmintára	
Z 0/32	Szét kell szitálni (2 – 4), (4 – 11), (11 – 22) és (22 – 32) mm szemnagyságú részmintára	
Z 0/45	Szét kell szitálni (2 – 4), (4 – 11), (11 – 22), (22 – 32) és (32 – 45) mm szemnagyságú részmintára	
Z 0/80	Szét kell szitálni (2 – 4), (4 – 11), (11 – 22), (22 – 32) és (32 – 45) mm szemnagyságú részmintára	
Z 4/22	Szét kell szitálni (4 – 11) és (11 – 22) mm szemnagyságú részmintára	
Z 22/45	Szét kell szitálni (22 – 32) és (32 – 45) mm szemnagyságú részmintára	
1. MEGJEGYZÉS: A szétszitált mintákat egyenként kell vizsgálni, és a vizsgálati eredmények súlyozott átlagával kell a termék magnézium-szulfátos aprózódását jellemezni. A 2 mm alatti és a 45 mm feletti szemeket nem kell vizsgálni. 2. MEGJEGYZÉS: A Z 0/22, Z 0/32, Z 0/45 és Z 0/80 frakciók esetén elegendő a két legnagyobb tömegarányú részmintát megvizsgálni.		

4.2. Cement megfelelősége

A MSZ 4798-1:2004 szabvány a fagyálló betonokhoz alkalmazható cementekre nem ad követelményt, de közli az EN 206-1:2000 szabvány svéd nemzeti alkalmazási dokumentumának (SS 137003:2002) ajánlását a CEM I és CEM II fajtájú cementek alkalmazására. (Az ajánlás a CEM III fajtájú cementekre nem terjed ki.) A svéd ajánlás szerint fagyálló betonok készítéséhez legalább 42,5 szilárdsági osztályú cementet kell használni. A CEM I fajtájú „tiszta” portlandcementek valamennyi környezeti osztályban felhasználhatók a fagyálló betonok kötőanyagául. A CEM II fajtájú „heterogén” portlandcementeket tekintve, a svédek az XF1, XF2, XF3 fagyállósági környezeti osztályban bármely CEM II/A jelű cement (kiegészítő anyag tartalom 6-20 tömeg%), az XF4

fagyállósági környezeti osztályban csak a savanyú pernye kiegészítő anyagos CEM II/A-V és a legfeljebb 0,5 tömeg% szerves-szén tartalmú, mészkőliszt kiegészítő anyagos CEM II/A-LL jelű cement alkalmazásával értenek egyet.

A DIN 1045-2:2001 szabvány az összes németországi cementfajtára részletes ajánlási/tiltási jegyzéket ad meg. A német szabvány F.3.1. táblázata szerint a CEM I fajtájú „tiszta" portlandcementek valamennyi környezeti osztályban felhasználhatók a fagyálló betonok készítéséhez. A CEM II fajtájú „heterogén" portlandcementek németországi alkalmazhatósága árnyaltabb. A CEM II/A-S és a CEM II/B-S jelű kohósalak-portlandcementek valamennyi környezeti osztályban felhasználhatók. A CEM II/A-V jelű pernye-portlandcementet az XF1 és XF3 környezeti osztályban, a CEM II/B-V jelű pernye-portlandcementet (kiegészítő anyag tartalom 21-35 tömeg%) csak az XF1 környezeti osztályban szabad alkalmazni. A CEM II/A-LL mészkő-portlandcement felhasználását valamennyi környezeti osztályban megengedik. A CEM II/A-M és a CEM II/B-M kompozit-portlandcementek alkalmazhatóságát a kiegészítő anyag kombinációktól teszik függővé. Úgy rendelkeznek, hogy a CEM II/A-M (S-LL) jelű (kohósalak + mészkőliszt) kompozit-portlandcement valamennyi fagyállósági környezeti osztályban, a CEM II/A M (V-LL) jelű (pernye + mészkőliszt) kompozit-portlandcement az XF1 és XF3 környezeti osztályban szabad felhasználni. Az ugyanilyen összetételű, de nagyobb kiegészítő tartalmú CEM II/B-M (S-LL) és CEM II/B M (V-LL) jelű kompozit-cementek felhasználását tiltják. A CEM III/A és a CEM III/B jelű kohósalakcementek alkalmazása Németországban az XF1, XF2, XF3 környezeti osztályban megengedett, az XF4 környezeti osztályban a CEM III/A fajtájú kohósalakcement használható akkor, ha a szilárdsági osztálya legalább 42,5, vagy ha legalább 32,5 R (nagy kezdőszilárdságú) és a kohósalaktartalma legfeljebb 50 tömeg%.

Német megállapítás, hogy növekvő kohósalaktartalom mellet csökken a légbuborékok hatékonysága, és fagyhatás esetén a légbuborékos beton hámlási vesztesége egyre jobban megközelíti a légbuborékképző adalékszer nélkül készült beton hámlási veszteségét (*Lohaus*, 2007).

Az osztrákok az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány NAD 10. táblázatában a CEM I és a CEM II/A fajtájú, nálunk is gyártott portlandcementek valamennyi fagyállósági környezeti osztályban való alkalmazását engedélyezik. Ugyancsak alkalmazható valamennyi környezeti osztályban a CEM II/B-S jelű kohósalak-portlandcement. A CEM II/B-V jelű pernye-portlandcementet feltétel nélkül csak az XF1 és az XF3 környezeti osztályban szabad felhasználni, az XF2 és XF4 környezeti osztályban pedig felhasználását a légbuboréktartalomra vonatkozó osztrák előírások teljesülésének igazolásához kötik. A CEM III/A fajfájú kohósalakcement használata feltétel nélkül csak az XF1 és az XF3 környezeti osztályban megengedett. A CEM III/A fajfájú kohósalakcement használata az XF2 és XF4 környezeti osztályban, valamint a CEM III/B fajfájú kohósalakcement használata valamennyi környezeti osztályban szintén a légbuboréktartalomra vonatkozó osztrák előírások teljesülésének igazolása esetén megengedett. A levegőtartalomra vonatkozó osztrák előírásokat a *2. táblázat* alatti 2. Megjegyzésben ismertettük.

A svéd, német és osztrák ajánlásokat is figyelembe véve a hazánkban gyártott cementek közül *fagy- és olvasztósó-álló betonok készítésére az XF1 és az XF2 környezeti osztályban a CEM I és a CEM II/A-S fajtájú, legalább 42,5 szilárdsági osztályú portlandcement, az XF3 és az XF4 környezeti osztályban a CEM I fajtájú, legalább 42,5 szilárdsági osztályú portlandcement ajánlható.*

4.3. Légbuborékképző adalékszer megfelelősége

A légbuborékképző adalékszerek a beton fagy- és olvasztósó-állóságát növelik, ezért alkalmazásuk az XF2 – XF4 környezeti osztályokban ajánlott (az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint kötelező), pályabetonok építése során előírt. Alkalmazásuk elsősorban útpályaszerkezetek esetén elengedhetetlen, magas- és mélyépítési betonok fagyállósága

légbuborékképzőszer nélkül is megoldható [XF2(BV-MI) és XF3(BV-MI) környezeti osztály].

Különleges hatásuk abban áll, hogy a betonban igen nagyszámú, kisméretű (átmérőjük kisebb, mint 0,3 mm) légbuborékot hoznak létre. A friss betonba légbuborékképzőszerrel bevitt légbuborékok a megszilárdult betonban is megmaradnak. A beton megfagyásakor a kapillárisokból kiszorított víz egy részét felveszik, és a képződő jégkristály-nyomást levezetik. A kapillárisokban megfagyó víz kitágulásának teret adnak, a kapillárisok megszakításával csökkentik a vízfelszívást, ezáltal a beton jégkristály-nyomás okozta szétrepedezésének veszélye lecsökken. Hasonló jelenség játszódik le a kikristályosodó olvasztósó kristály-nyomásának semlegesítésekor is.

Az adalékszerek légbuborékképző hatása hatékonyságuktól és adagolásuktól, a cement fajtájától, a beton összetételétől, konzisztenciájától (víztartalmától), hőmérsékletétől, keverési módjától függ. A légbuborékok mennyisége a betonban általában *növekszik*, ha például a légbuborékképző adalékszer adagolása nő, a 0,25/0,5 mm-es finom homok tartalom nő, a homok szemlakja szögletes, a cementtartalom kisebb, a légbuborékképzőszert a keverővízben feloldják, a betonba kötésgyorsítószert is adagolnak, a keverési idő mintegy 1,5 perc, a konzisztencia képlékeny (de nem önthető) a földnedves helyett stb., és általában *csökken*, ha például a 0,125 mm alatti szemek mennyisége nő, finomabb őrlésű a cement, a cement pernye- vagy kohósalaktartalma nő, a betonba késleltetőszert is adagolnak, az optimálisnál hosszabb a keverési idő, hosszú a szállítási vagy a bedolgozási idő, a nyári melegben stb. (*Erdélyi*, 1983)

A betonban képzett légbuborékok általában csökkentik a beton szilárdságát, kivéve, ha a képlékenyítő hatást a víz-cement tényező csökkentésére használjuk. Ez azonban általában csak viszonylag csekély levegőtartalom vagy sovárybetonok esetén lehetséges. A légbuborékképzőszer túladagolása a beton nyomószilárdságának jelentős csökkenését okozza. A légbuborékos beton kúszása mindig nagyobb, mint a légbuborékképzőszer nélkülié.

A légbuborékképző adalékszerek valamelyest képlékenyítenek és csökkentik a vízigényt is. Légbuborékképzőszer és képlékenyítő- vagy folyósítószer együttes alkalmazása során hatás-vizsgálattal meg kell győződni arról, hogy a légbuborékképzés a képlékenyítő- vagy folyósítószerben lévő habzásgátló ellenére szavatolható, továbbá az adalékszerek és a cement összeférhetők.

Szivattyús szállításkor a légbuborékos friss betonban lévő jelentős mennyiségű levegő összenyomódása folytán a betonszivattyú hatékony működése, *a légbuborékos beton szivattyúzhatósága a szállítási távolságtól függő mértékben romlik.*

A beton kémiai hatásokkal szembeni ellenállását légbuborékképzőszerrel nem lehet növelni.

Ha az érdekelt felek a bedolgozott friss betonon mért vagy számított levegőtartalom kimutatásával nem elégszenek meg, vagy megegyeznek a fagy- és olvasztósó-állósági vizsgálat elhagyásában, vagy egyéb szempontok szólnak mellette, akkor a beton megfelelőségének igazolásához a megszilárdult beton próbatestből (vagy ritkán a kész szerkezetből vett magmintákból, ugyanis az értékeléshez ismerni kell a beton pontos összetételét is) kimunkált és megcsiszolt próbatesteken kell a légbuborékok távolsági tényezőjét és mennyiségét az MSZ EN 480-11:2006 szerinti sztereomikroszkópos vizsgálattal meghatározni. Az MSZ EN 480-11:2006 szerinti vizsgálat az ASTM C 457:1998 szabványon alapul. A (100 ± 10)-szeres nagyítású, integráló mérőasztallal ellátott sztereomikroszkóppal a mérővonallal átmetszett minden 0-4 mm közötti húrhosszúságú pórust figyelembe kell venni, kivéve, ha az egyértelműen repedés. (A hosszabb húrokat kihagyva jobb eredmény adódik.) A mérővonal hosszából és az átmetszett húrhosszak összegéből ki kell számítani a teljes légbuboréktartalmat térfogat%-ban, a légbuborékok térfogati fajlagos felületét mm^2/mm^3 mértékegységben (*Kausay*, 2004), a légbuborék-eloszlást, a legfeljebb 0,3 mm átmérőjű, ún. hatékony (mikro)légbuborékok mennyiségét térfogat%-ban (jele: A_{300}, német

nyelvterületen L300) és a távolsági tényezőt mm-ben (jele: $\bar{L}$, német nyelvterületen AF). A légbuborék szerkezet vizsgálata egy olyan idealizált cementkő-modellt feltételez, amelyben egyforma méretű, gömb alakú légbuborékok egyenletes eloszlásban, köbös térrácsban helyezkednek el, és az idealizált légbuborék szerkezetnek ugyanakkora az összes térfogata és a térfogati fajlagos felülete, mint a tényleges légbuborék szerkezetnek. Ebben a cementkő-modellben a távolsági tényező a cementkőben a térrács átlója mentén egymás mellett fekvő két légbuborék felülete közötti névleges távolság fele. Ez a leghosszabb távolság, amelyet a nyomás hatására a vízmolekulának meg kell tennie ahhoz, hogy egy buborékfelszínhez érjen. A hagyományosan fáradtságos és időigényes vizsgálatot és a vizsgálati eredmények értékelését napjainkban már számítógéppel és videokamerával társított sztereomikroszkópos, automata műszerrel (AAVA, automated air void analyzer) fél órán belül el lehet végezni (*Pade* et al., 2002). A légbuborék szerkezet vizsgálatával *Erdélyi*, a vizsgálathoz szükséges csiszolat elkészítésével *Zimonyi* foglalkozott részletesen (1997).

Légbuborékképzős fagyálló beton esetén – a szilárd betonban, az MSZ EN 480-11:2006 szabvány szerint meghatározva – *a távolsági tényező legfeljebb 0,22 mm,* a bevitt, 0,3 mm-nél kisebb névleges átmérőjű *hatékony légbuborékok* (mikrolégbuborékok, jele: L300) mennyisége (jele: A_{300}) legalább 1,0 térfogat% (az XF2 és XF3 környezeti osztályban), ill. legalább 1,8 térfogat% (az XF4 környezeti osztályban) legyen, összhangban az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány szerinti légbuborék követelményekkel (*2. táblázat*).

Az MSZ EN 934-2:2002 adalékszer szabvány azt a légbuborékképző adalékszert tekinti megfelelőnek, amelynek hatására a légbuborékképzős friss beton levegőtartalma legalább 2,5 térfogat%-kal nagyobb, mint a légbuborékképző nélküli beton levegőtartalma, és a friss beton teljes levegőtartalma 4 – 6 térfogat%. Követelmény továbbá, hogy a légbuborékképzőszer a megszilárdult betonban – az MSZ EN 480-11:2006 szabvány szerint meghatározva – *legfeljebb 0,20 mm távolsági tényezőt hozzon létre.* Az MSZ EN 934-2:2002 szabvány szerint 28 napos korban a légbuborékképző adalékszerrel készült beton nyomószilárdságának el kell érnie a légbuborékképző adalékszer nélkül készített ellenőrző beton nyomószilárdságának 75 %-át.

Minthogy az XF2(BV-MI) és XF3(BV-MI) környezeti osztályú betonok légbuborékképző adalékszer nélkül készülnek, ezek fagy- és olvasztósó-állóságát az MSZ 4798-1 szabvány 5.5.6. szakaszát, vagy esetleg más, megállapodás szerinti szabványt (például ÖNORM B 3303:2002) követő vizsgálatokkal igazolni kell. *Az XF2(BV-MI) és XF3(BV-MI) környezeti osztályban a megszilárdult beton fagy- és olvasztósó-állóság, ill. fagyállóság vizsgálata nem hagyható el.*

5. A BETON FAGY- ÉS OLVASZTÓSÓ-ÁLLÓSÁG VIZSGÁLATA

Az egykori MSZ 4715:1955 és MSZ 4715:1961 szabvány 25 fagyasztási ciklust írt elő. A fagyasztás időtartama -20 °C léghőmérsékleten legalább 6 óra volt, amelyet legalább 6 órán át tartó vízben történő olvasztás követett (+15) – (+20) °C vízhőmérsékleten. A fagyállóságot a tömegveszteségből vagy az etalon próbatestek nyomószilárdságához viszonyított nyomószilárdság vizsgálati eredményből határozták meg. A betont fagyállónak tekintették, ha a nyomószilárdság csökkenés legfeljebb 10 % volt. Az MSZ 4719:1958 szabvány a 25 fagyasztási ciklust kiállott betont fagyálló betonnak, az 50 fagyasztási ciklust kiállott betont különlegesen fagyálló betonnak nevezte.

Az MSZ 4715-3:1972 szabvány szerint a 150 bar nyomással telített (lásd *7. táblázat*) próbatestek fagyállósági vizsgálatát vízben vagy levegőn végzett fagyasztással és vízben történő olvasztással kellett végezni. (A levegőn fagyasztott próbatestekből a víz párolog, ezért a vízben történő fagyasztás a szigorúbb.) Az MSZ 4715-3:1972 szabvány esetén a fagyasztási ciklusok száma 15, 25, 50, 100 vagy 150 volt. A fagyasztási idő kezdetét a jégben vagy légtérben attól az időponttól kezdve számították, amikor a tér minden pontja elérte a (-20 ± 3) °C hőmérsékletet. A fagyasztás legalább 4 órán át tartott. Az olvasztás attól az

időponttól kezdve, amikor a víztér minden pontja elérte a (+20 ± 3) °C hőmérsékletet, legalább 2 órán át tartott vízben. A vizsgálat eredményeként azt a ciklusszámot határozták meg, amelynél a próbatest tömegvesztesége vízzel telített állapotban mérve elérte az 5%-ot. Szilárdság vizsgálattal egybekötött fagyállóság vizsgálat esetén határértéknek azt a legkisebb ciklusszámot tekintették, amelyiknél a vízzel telített, fagyasztott próbatest nyomószilárdsága legalább 25 %-kal kisebb, mint az egyidejűleg vizsgált, vízzel telített ellenőrző próbatest nyomószilárdsága.

Az MSZ 4719:1977 és az MSZ 4719:1982 szabvány a 25, 50, 150 fagyasztás-olvadási ciklusnak ellenálló betonokat ismerte, és fagyállóságukat f 25, f 50, f 150 jellel jelölte.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány kétféle fagyállóság, ill. fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot ismer: vagy a beton belső szerkezeti sérülését („A" eset), vagy a beton felületi hámlását („B" eset) vizsgálja. Az „A" eset az MSZ EN 12371:2002 szabványt követi, a „B" eset hasonló az MSZ EN 1338:2003 szabvány D mellékletében leírt eljáráshoz.

A fagyállóságot, ill. a fagy- és olvasztósó-állóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány és a BV-MI 01:2005 műszaki irányelv szerint a következőképpen kell vizsgálni és értékelni, amelyhez megjegyzést is fűzünk:

- Az XF1 és az XF3 környezeti osztály esetén, ahol csak fagyhatás éri a betont, – ha a fagyállóságot nem közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor – a fagyállóságot együtt a „referencia" betonnal, az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „*A*" esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. *Véleményünk szerint* a betonösszetétel határértékeivel történő előírás csak az XF1 környezeti osztályban engedhető meg;
- Úgy véljük, hogy az XF3 környezeti osztályban a fagyállóság vizsgálatot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „*A*" esete szerint el kell végezni, ha a légbuborék szerkezetet (légbuborék eloszlás és távolsági tényező) nem határozzák meg;
- Az XF2 és az XF4 környezeti osztály esetén, ahol fagy- és olvasztósó-hatás éri a betont, – ha a fagy- és olvasztósó-állóságot nem közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor – a fagy- és olvasztósó-állóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „*B*" esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. Ha megegyeznek a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat elhagyásában, és a fagy- és olvasztósó-állóságot közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor a szilárd beton légbuborék eloszlását és távolsági tényezőjét kell meghatározni az MSZ EN 480-11:2006 szerint. *Véleményünk szerint* az XF2 és XF4 környezeti osztályban nem elegendő a fagy- és olvasztósó-állóságot közvetve a betonösszetétel határértékeivel előírni, hanem el kell végezni az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „*B*" esete szerinti vizsgálatot, amely az XF2 környezeti osztály esetén elhagyható, ha a légbuborék szerkezetet meghatározzák. Az XF4 környezeti osztályban ajánlott meghatározni a légbuborék szerkezetet is;
- Az XF2(BV-MI) környezeti osztály esetén a fagy- és olvasztósó-állóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „*B*" esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. A fagy- és olvasztósó-állóságot közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel nem szabad előírni, hanem a fenti vizsgálatot el kell végezni;
- Az XF3(BV-MI) környezeti osztály esetén a fagyállóságot együtt a „referencia" betonnal, az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „*A*" esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. A fagyállóságot közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel nem szabad előírni, hanem a fenti vizsgálatot el kell végezni.

A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatának rendje tehát javaslatunk szerint a *6. táblázat* szerinti legyen. *A 6. táblázatban javasolt vizsgálati rend érvényre juttatásához az MSZ 4798-1:2004 szabvány átdolgozása lenne szükséges.*

6. táblázat: A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatának rendje (javaslat)

Környezeti osztály	**Olvasztósó hatás éri a betont**	**A beton felülete**	**Vizsgálati rend**
XF1	Nem	Függőleges	Megengedhető a betonösszetétel határértékeivel történő előírás
XF2	Igen	Függőleges	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B”* esete szerint, amely elhagyható, ha a légbuborék szerkezetet meghatározzák
XF3	Nem	Vízszintes	Fagyállóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„A”* esete szerint, amely elhagyható, ha a légbuborék szerkezetet meghatározzák
XF4	Igen	Vízszintes	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B”* esete szerint és ajánlott meghatározni a légbuborék szerkezetet is
XF2(BV-MI)	Igen	Függőleges	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B”* esete szerint
XF3(BV-MI)	Nem	Vízszintes	Fagyállóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„A”* esete szerint

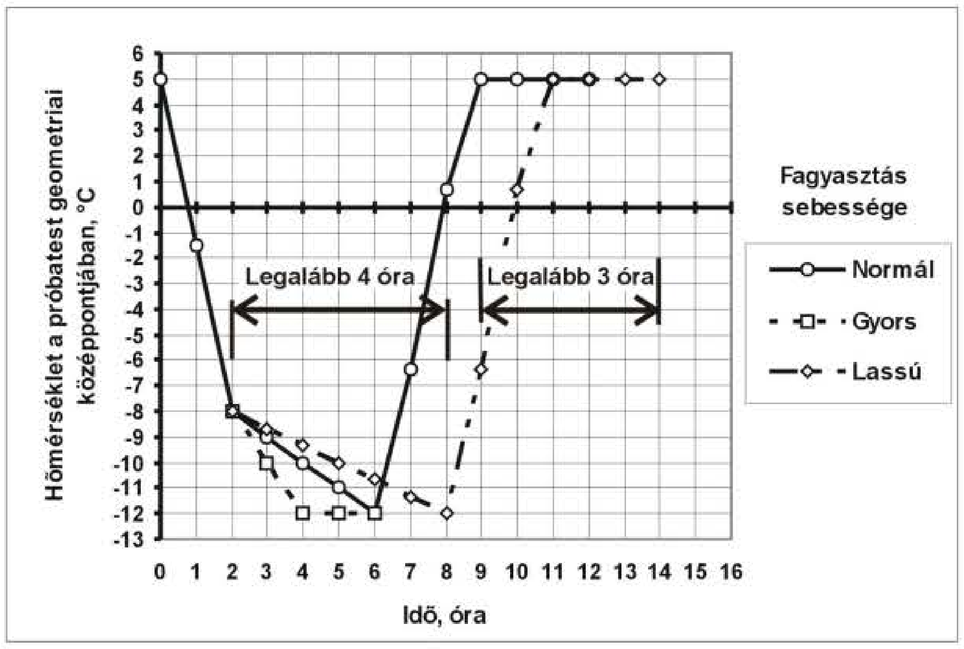
A beton fagy- és olvasztósó-állóságának követelménye az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszában található. A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálathoz 100 m^3 beton-térfogatonként, vizsgálatonként legalább 1 db, de tételenként legalább 3 db próbatestet kell készíteni. A fagyállóság vizsgálathoz szükséges referencia próbatestek darabszáma ugyanennyi kell, hogy legyen.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„A” esete* szerint, ha a beton fagynak ki van téve, de olvasztósó hatása nem éri (azaz környezeti osztálya XF3), akkor a megszilárdult beton fagyállóságát legalább 28 napos, de legfeljebb 35 napos korú és vízzel telített próbatesteken, légtérben történő fagyasztással és víz alatti olvasztással kell vizsgálni az MSZ EN 12371:2002 szabvány módszerét alkalmazva (*7. táblázat*). Ezt az eljárást fel fogja váltani a „belső szerkezeti fagykárosodásokat” vizsgáló európai eljárás, amelyet európai műszaki jelentés (CEN/TR 15177:2006) formájában tettek közzé.

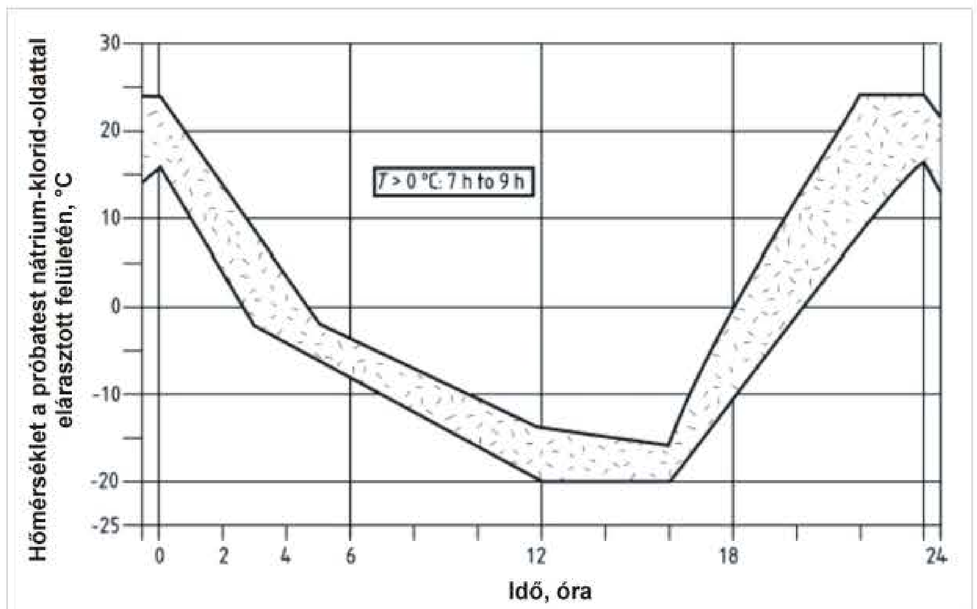
Az MSZ 4798-1:2004 szabvány fagyállóság vizsgálatának „A” eset szerinti hőmérsékleti görbéjét az *5. ábrán* mutatjuk be.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B” esete* szerint (az MSZ 1338:2003 szabványt követve), ha a beton fagynak és olvasztósó hatásának is ki van téve (azaz környezeti osztálya XF2 vagy XF4), akkor a megszilárdult beton fagy- és olvasztósó-állóságát ugyancsak legalább 28 napos, de legfeljebb 35 napos korú és vízzel telített, és öt oldalán gumiréteggel körülragasztott, a vizsgált felületen túlnyúló peremmel körülhatárolt, a peremen belül 3 százalékos, 3 mm mélységű nátrium-klorid oldattal feltöltött próbatesteken kell, ún. „hámlasztásos” (vagy „felületi mállási”) eljárással vizsgálni. A peremes hámlasztásos vizsgálatot a jövőben a prEN 12390-9:2002 szabványtervezetet felváltó MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány referencia módszere szerint célszerű végezni (*7. táblázat*). A peremes hámlasztásos vizsgálat hazai tapasztalatok szerint túlzottan erős hatása folytán elsősorban összehasonlító jelleggel alkalmazható.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány fagy- és olvasztósó-állósági vizsgálatának „B” eset szerinti hőmérsékleti görbéje a *6. ábrán* látható.



5. ábra: MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD 5.1. ábrája, a fagyállóság vizsgálat fagyasztási-olvasztási diagramja az XF1 és XF3 környezeti osztály esetén („A” eset)



6. ábra: MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD 5.2. ábrája, a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat fagyasztási-olvasztási diagramja az XF2 és XF4 környezeti osztály esetén („B” eset)

1. Megjegyzés: A CEN/TR jelzetet európai műszaki jelentések kapnak. A CEN/TR jelzetű műszaki jelentések olyan útmutatókat, tájékoztató adatokat tartalmaznak, amelyek a szabványok alkalmazását támogatják, de tartalmuk nem alkalmas arra, hogy szabványosított követelmények legyenek (*Szabó*, 2006).

2. Megjegyzés: A CEN/TS jelzet európai műszaki előírást takar, és tulajdonképpen a prEN előszabvány (szabványtervezet) jelzet helyett vezették be. Általában akkor alkalmazzák, ha az előszabvány az EN szabvánnyá váláshoz nem kapja meg a kellő támogatást vagy a hivatalos szavazásra való előterjesztésre megadott határidőn belül nincs közmegegyezés. Három éven belül felül kell vizsgálni, hogy EN-szabvánnyá átdolgozható-e. Nemzeti szabványként nem kötelező bevezetni, de nemzeti szinten hozzáférhetővé kell tenni. A bevezetett CEN/TS státusa a nemzeti címoldal szerint „szabvány”. Bevezetésekor a korábban meglévő, azonos tárgyú nemzeti szabványokat nem kell visszavonni (*Szabó*, 2006).

A prEN 12390-9:2002 szabványtervezetet szerinti hámlasztásos vizsgálattal – mások mellett – *Erdélyi – Csányi – Kopecskó – Borosnyói – Fenyvesi*, a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék kutatói acélszálas betonok fagy- és olvasztósó-állóságának tanulmányozása során végeztek széleskörű kísérleteket (2007 és 2008). A kísérlet során különböző módszereket alkalmaztak. Ezek közül a legszigorúbb (a szabványos eljárásokhoz képest is) az a kapilláris felszívásos hámlasztási vizsgálat volt, amelynek során a félig sóoldatba merített, fekvő hasábokat, hossztengelyük mentén, 8 ciklusonként 90°-kal elforgatták. Ezáltal a 32 ciklus alatt minden oldal egyszer felülre került, és felfelé párologtathatott, másszor alulról szívhatta a sóoldatot. Megállapításaik közül kiemeljük, hogy

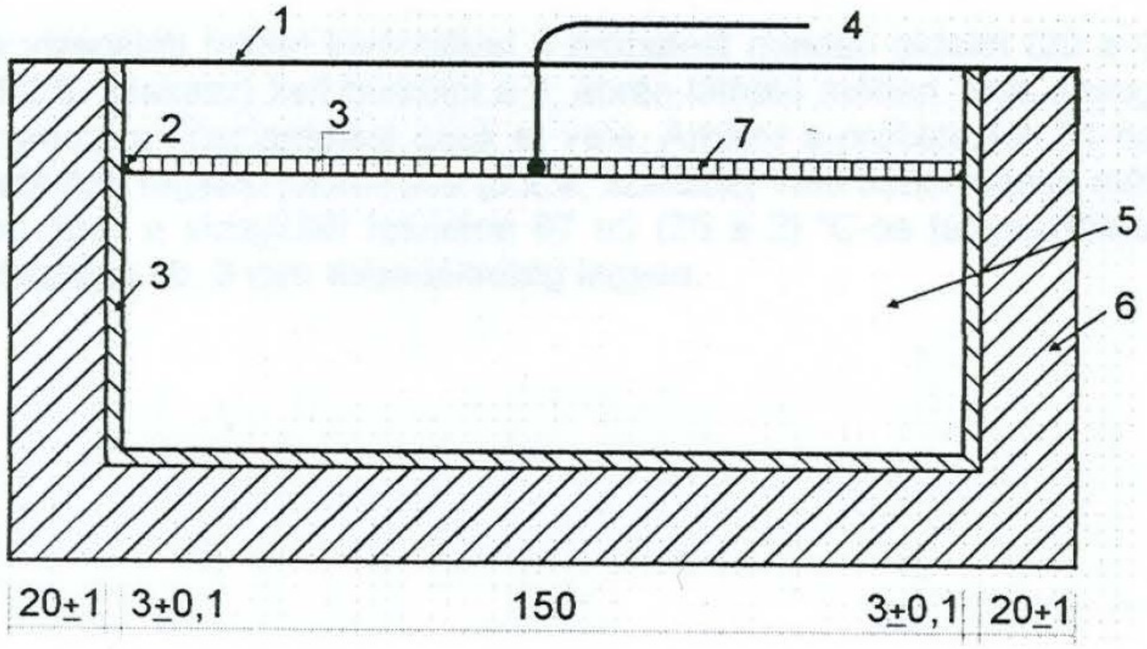
- „a 45-65 N/mm^2 nyomószilárdságú beton légbuborékképzőszer és légbuborék rendszer nélkül nem fagyálló, és az acélszál adagolás ezen gyökeresen nem segít;
- az 56 ciklusos hámlasztásos módszer szigorúbb, mint a szokásos, nyugvó oldatba merített testek fagyasztása-olvasztása és minősítése a tömegveszteség és a szilárdságcsökkenés alapján. A 28 ciklusos kapilláris felszívásos hámlasztás (CDF módszer) ciklusszáma – amelyet például az útburkoló betonelemekre az MSZ EN 1338:2003 elő ír, különösképpen az MSZ EN 1340:2003 szerinti beton szegélykövek esetén – elégtelen;
- a kezdeti rugalmassági modulus fagyasztás-olvasztás hatására 30-40 %-ot csökken a kiindulásihoz képest, és az értékek nagyon szórnak;
- a beágyazott acélszálak nem rozsdásodnak, és a hámlást a szabaddá váló, sóoldattal érintkező szálak rozsdanyomása nem fokozza. Az acélszálak a hámlást csökkentik;

- a beton vízzárósága a fagyasztás után is megfelelő volt;
- az acélszáltartalom az egész betonszerkezet korróziós veszélyeztetettségét kissé növeli a szál nélkülihez képest, mert a beton fajlagos villamos ellenállása csökken: legkisebb sótelített állapotban, nedvesen;
- a kloridion-tartalom a soha nem sózott, nem fagyasztott kontroll mintákban elhanyagolható. A sóoldatban fekvő, fagyasztott mintákban a cementtartalomra vonatkozó becsült kloridion-tartalom 1,5-2 m% közötti: ez kevesebb, mint amennyit tengervízzel fröcskölt betonszerkezetekben mértek. Kimutatható, hogy a Cl^-/SiO_2 arány a nagyobb zárványossággal növekszik."

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B" esete* szerinti peremes hámlasztásos fagyasztási vizsgálatot a jövőben a CEN/TS 12390-9:2006 európai műszaki előírás honosításával bevezetett MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabványban szereplő referencia módszer alkalmazásával kell végezni. Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabványban egy referencia (*peremes hámlasztás*) és két alternatív (*bemerítéses leválási és kapilláris felszívásos hámlasztási*) fagyasztási vizsgálati módszer található. A módszerek mind ionmentes vízzel, mind nátrium-klorid oldattal alkalmazhatók. A *kapilláris felszívásos alternatív vizsgálat* során a próbatesteket egyirányú kapillárisfelszívásnak teszik ki, és ha a fagyasztóközeg ionmentes víz, *CF-vizsgálatnak* (**C**apillary suction of water and **F**reeze thaw test), ha nátrium-klorid oldat, *CDF-vizsgálatnak* (**C**apillary suction of **D**eicing solution and **F**reeze thaw test) nevezik. (A kapilláris felszívásos alternatív CDF-vizsgálat a bemerítéses alternatív vizsgálatnál szigorúbb, mert a kapillárisokba felszívódó sóoldat párolgásával a nátrium-klorid a pórusokban feldúsul és repesztőhatása növekszik.) A fagyasztási-olvasztási ciklusok száma általában 56, kivéve a kapilláris felszívásos alternatív vizsgálatot, ha a fagyasztóközeg nátrium-klorid oldat (CDF-vizsgálat), mely esetben a ciklusszám 28. Megegyezés szerint vagy a referencia módszert, vagy a két alternatív módszer egyikét, kétség esetén mindig a referencia módszert kell alkalmazni. A három vizsgálati módszerrel kapott eredmény között nincs összefüggés. A peremes hámlasztás referencia módszere nagy hasonlóságot mutat az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti hámlasztásos, „B" módszerrel. A szabvány követelmény értéket nem tartalmaz, irodalmi ajánlások alapján (*Setzer, 1990)* fagy- és olvasztósó-állónak tekintik a betont, ha a CDF-vizsgálat során 28 fagyasztási-olvasztási ciklus után a hámlási veszteség legfeljebb 1500 g/m^2. Ez a követelmény csak laboratóriumi próbatestek esetén érvényes, kifúrt magminták esetén (a beton kora, igénybevétele stb. miatt) nem alkalmazható (*Lang* 2003; *Bollmann – Lyhs*, 2005; *Bilgeri* et al., 2007).

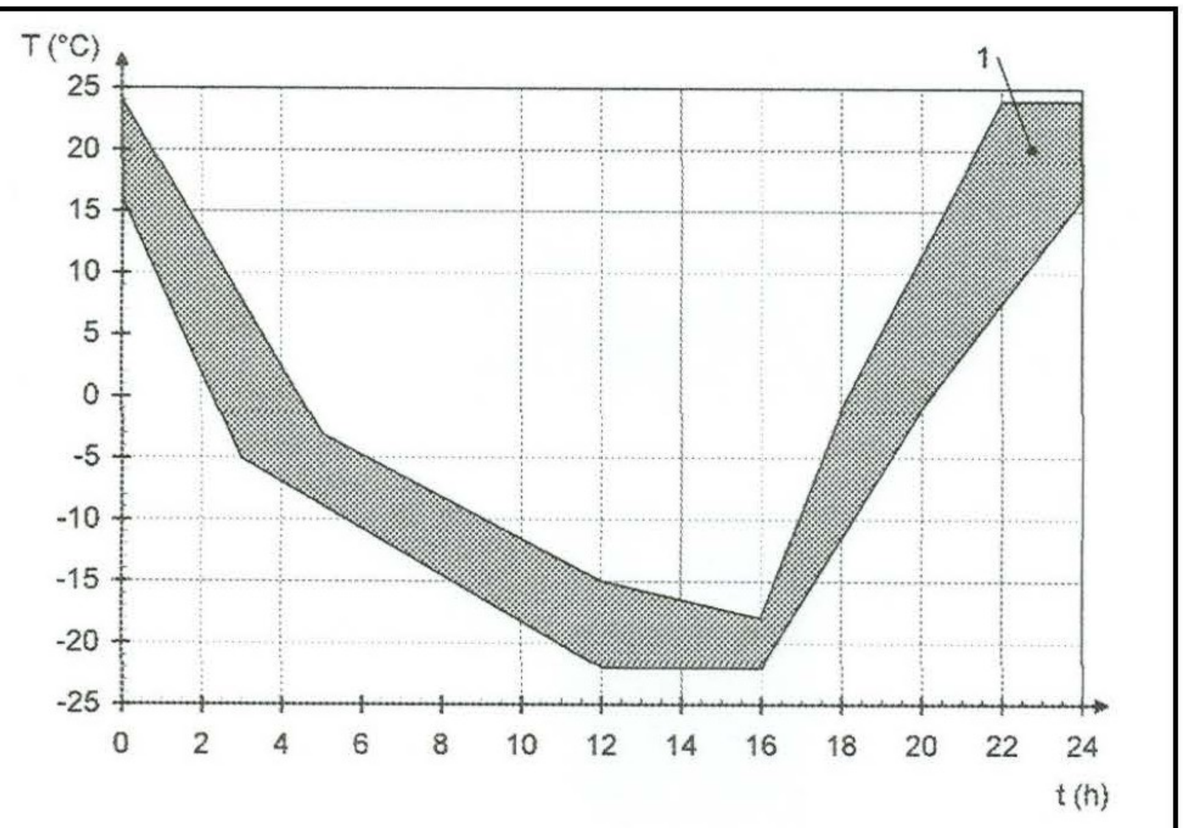
Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti felületvizsgálat (referencia-módszer) próbatestjének elrendezése a *7. ábrán*, hőmérsékleti görbéje a *8. ábrán*, a kockavizsgálat (alternatív-módszer) tartálya a *9. ábrán*, hőmérsékleti görbéje a *10. ábrán*, a CF/CDF vizsgálat alapelrendezése a *11. ábrán*, sablon kialakítása a *12. ábrán*, hőmérsékleti görbéje a *13. ábrán* látható.

Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007, MSZ EN 12371:2002 és MSZ EN 1338:2003 szabvány, valamint a visszavont MSZ 4715-3:1972 szabvány szerinti fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatok jellemzőit a *7. táblázatban* hasonlítjuk össze.



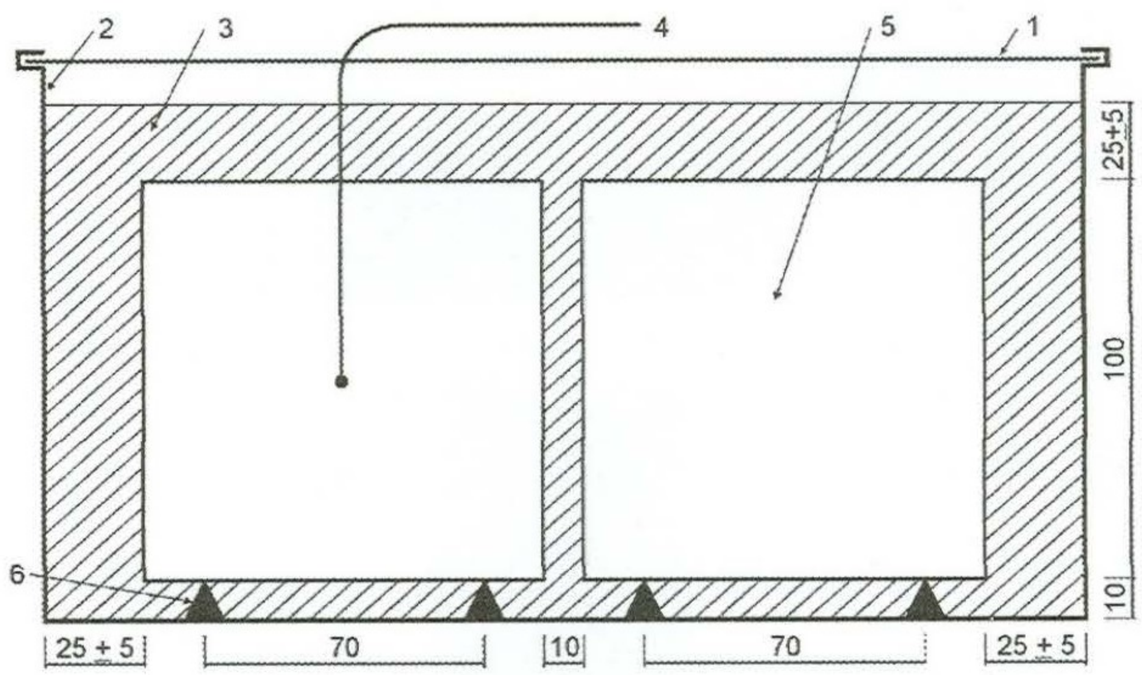
7. ábra: Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti felületvizsgálat (referencia-módszer) próbatestje.

Jelmagyarázat: 1) Polietilénlemez,
2) Ragasztócsík, 3) Gumilemez,
4) Hőmérő a vizsgálati felületen, 5) Próbatest,
6) Hőszigetelés, 7) Fagyasztóközeg



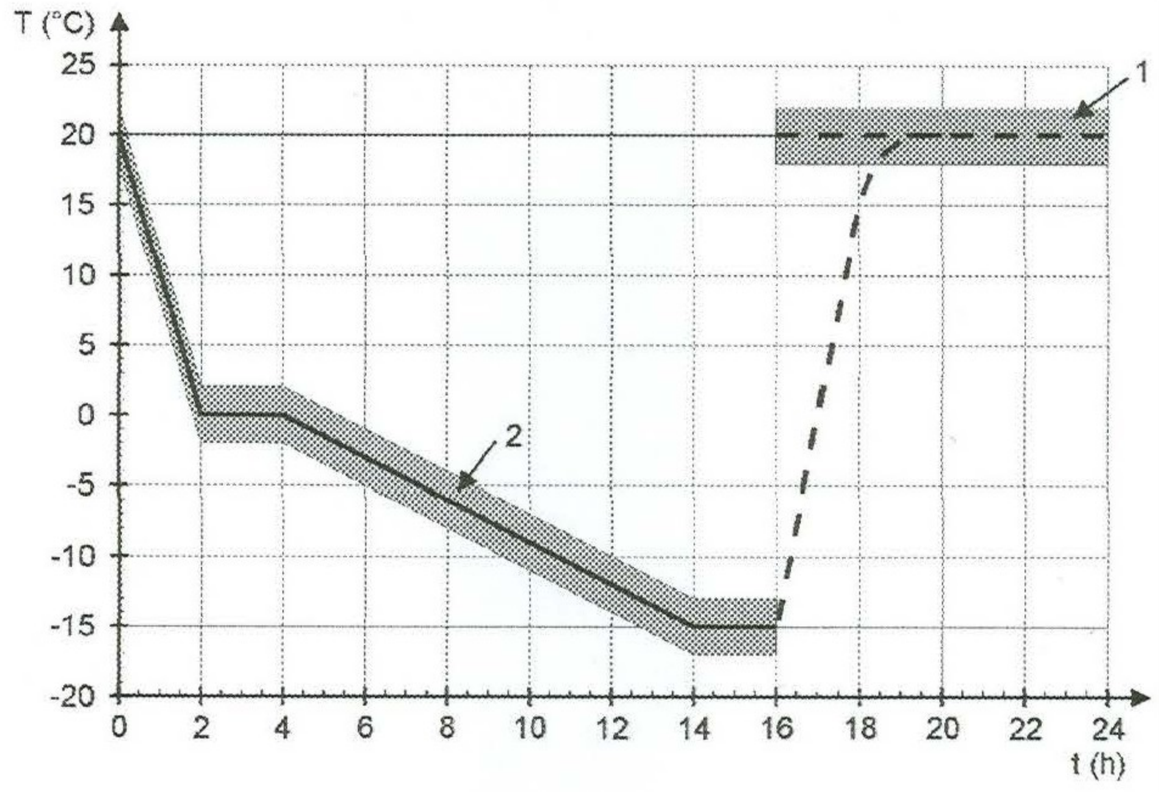
8. ábra: Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti felületvizsgálat (referencia-módszer) hőmérsékleti görbéje.

Jelmagyarázat: 1) Hőmérsékleti határok a vizsgálati felület középpontjában



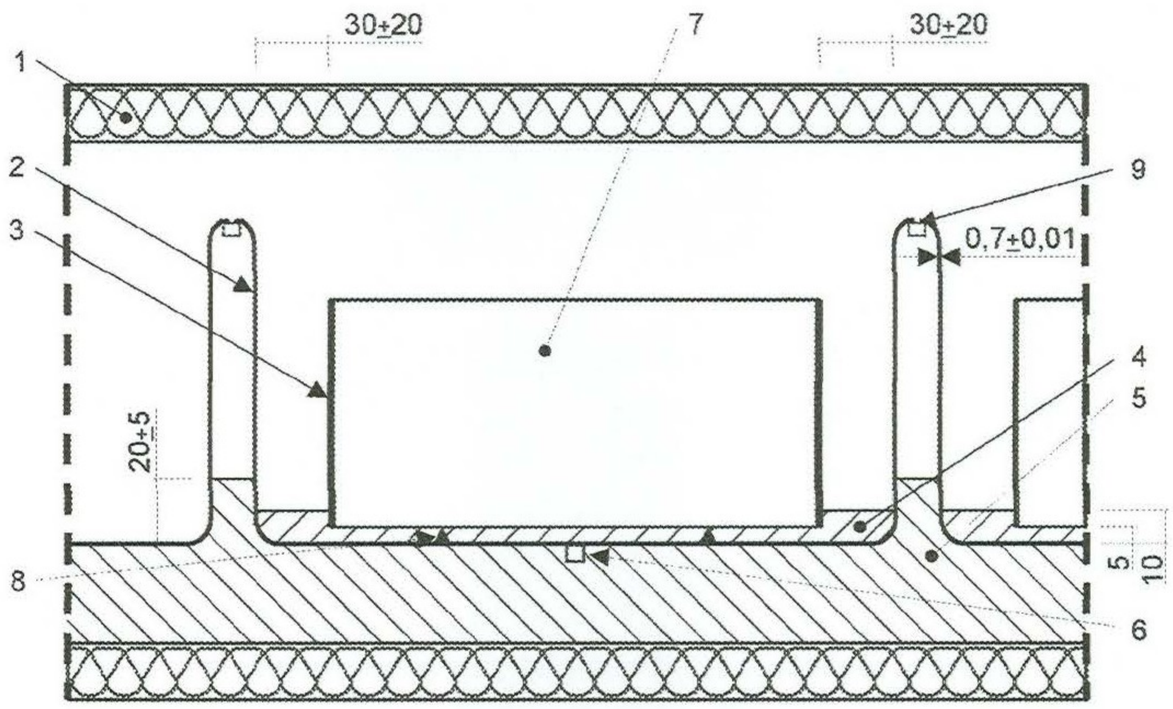
9. ábra: Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti kockavizsgálat (alternatív-módszer) tartálya próbatestekkel.

Jelmagyarázat: 1) Csúszófedél, 2) Tartály,
3) Fagyasztóközeg, 4) Hőmérő a próbakocka közepén, 5) Próbakocka, 6) 10 mm magas alátámasztás



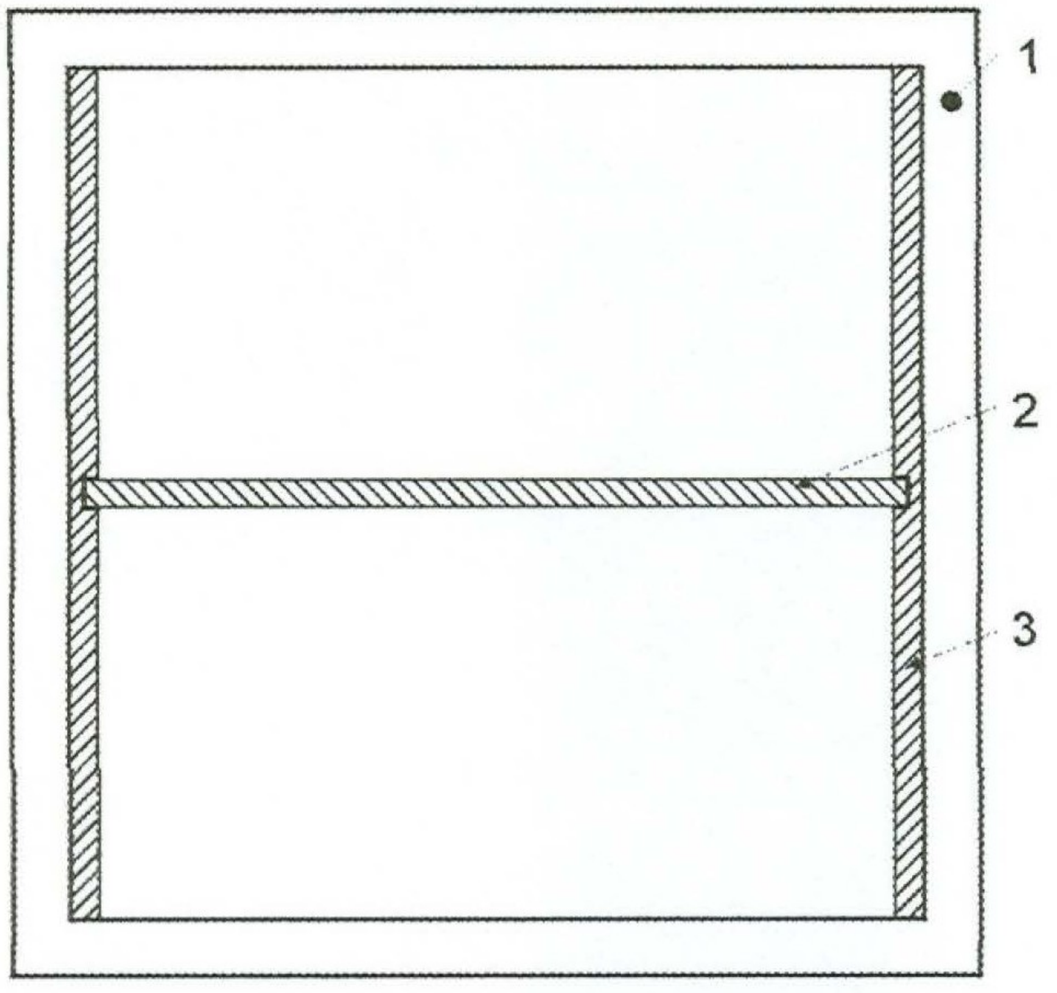
10. ábra: Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti kockavizsgálat (alternatív-módszer) hőmérsékleti görbéje.

Jelmagyarázat: 1) A vizes kád hőmérséklete,
2) Hőmérséklet a 100 mm élhosszúságú kocka közepén



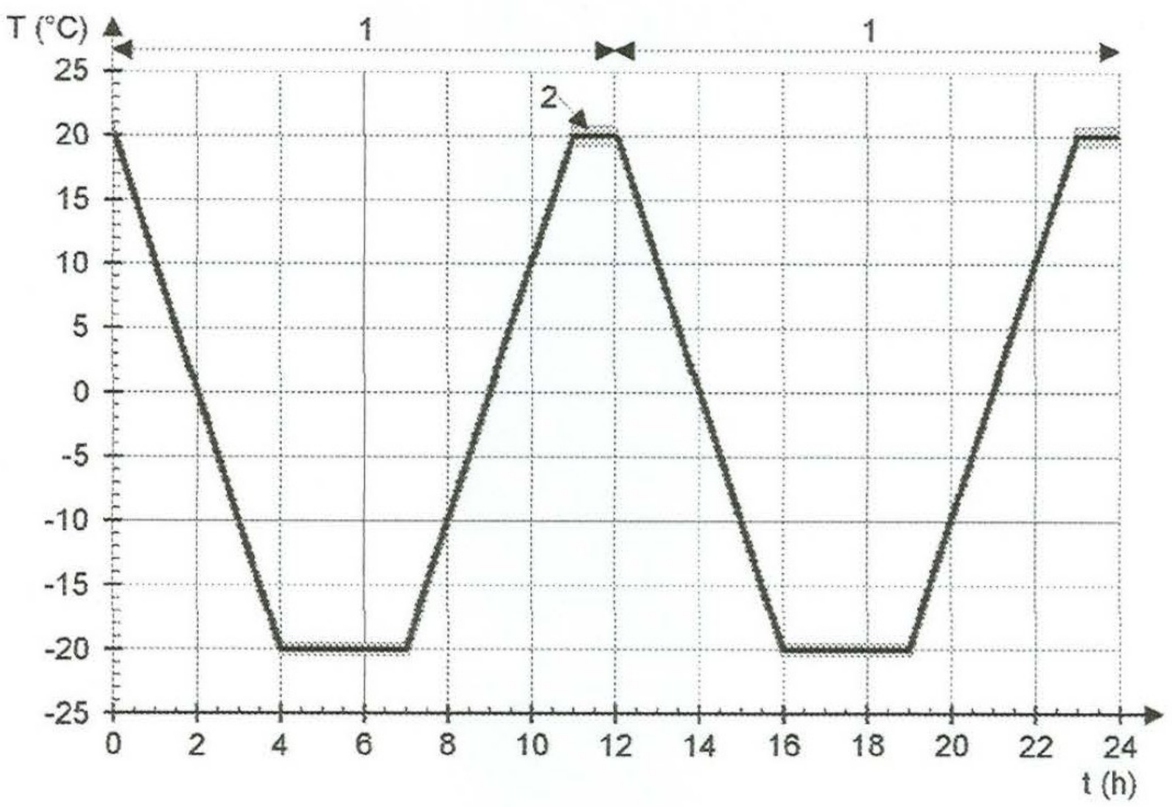
11. ábra: Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti CF/CDF vizsgálat (alternatív módszer) alapelrendezése

Jelmagyarázat: 1) Tartály fedele, 2) Vizsgálótartály, 3) Próbatest oldalainak szigetelése, 4) Fagyasztóközeg, 5) Hűtőfolyadék, 6) Hőmérő a hűtőfolyadékban a középső tartály közepe alatt, a vizsgálótartály aljára erősítve, 7) Próbatest, 8) 5 mm magas alátámasztás, 9) Támasztékok a vizsgálótartályok beállításához



12. ábra: Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti CF/CDF vizsgálat elválasztó-lemezeinek elhelyezése a sablonban.

Jelmagyarázat: 1) 150 mm élhosszúságú sablon, 2) Középső PTFE (politetrafluoretilén, pl. teflon) lemez, 3) Oldalsó PTFE (politetrafluoretilén, pl. teflon) lemez



13. ábra: Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti CF/CDF vizsgálat hőmérsékleti görbéi.

Jelmagyarázat: 1) Fagyasztási és olvasztási ciklus, 2) Hőmérséklet a referenciaponton

7. táblázat: Fagy- és olvasztósó-állóság szabványos vizsgálatainak összehasonlítása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004		MSZ 4715-3:1972
				„A" eset (MSZ EN 12371:2002)	„B" eset (MSZ EN 1338:2003)	
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd *9. ábra*)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd *11. ábra*)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás	VISSZAVONT
Vizsgálat jellege	Peremes hámlasztás	Bemerítéses leválás	Kapilláris felszívásos hámlasztás	Bemerítéses leválás	Peremes hámlasztás	Hagyományos fagyasztás
Fagyasztóközeg	3 mm mély réteg: ionmentes víz vagy 3 %-os NaCl oldat	Próbatestet (25±5) mm-rel ellepő ionmentes víz vagy 3 %-os NaCl oldat	10 mm mély réteg: ionmentes víz vagy 3 %-os NaCl oldat	Fagyasztás levegőn, olvasztás vízben	3 mm mély réteg: 3 %-os NaCl oldat (esetleg csapvíz, lásd az „A" esetet)	Fagyasztás levegőn, az olvasztás vízben. Megengedett a víz alatti fagyasztást is
Eredeti próbatest mérete	150 mm-es kocka	100 mm-es kocka	I-alakú PTFE (pl. Teflon) betéttel függőlegesen két részre osztott, 150 mm-es kockasablonban készülő, kb. 140·150 mm vizsgálati felületű, (70±5) mm magas próbatest	Vízzel telített 100 vagy 150 mm-es kocka, vagy Ø150·150 vagy Ø100·100 mm-es henger	Legalább 20 napos 150 mm-es kocka, amelynek felezőjéből ki lehet vágni az 50·150·150 mm-es vizsgálati próbatestet	Legfeljebb 32 mm legnagyobb szemnagyságú beton esetén 5-8 dm^3, 32-63 mm legnagyobb szemnagyságú beton esetén 20-30 dm^3
Próbatestek száma	4 db kockából kivágott 1-1 próbatest	4 db kocka, két tartály 2-2 kockával	5 db próbatest	3 db vízzel telített fagyasztandó és 1 db nem fagyasztott referencia próbatest hőmérsékletmérésre	3 db próbatest	Legalább 28 napos, 2 db próbatest, az egyiket fagyasztani, a másikat víz alatt kell tárolni az ellenőrző szilárdság vizsgálatig
Vizsgálati felület	A vizsgálati felület az eredeti próbatest felezősíkjával azonos vágott felület	Mind a hat oldal érintkezik a fagyasztóközeggel	A sablonban a függőleges PTFE anyagú elválasztó lemezzel érintkezett, kb. 140·150 mm-es felület	Mind a hat oldal érintkezik a fagyasztóközeggel	7500-25000 mm^2 közötti felület	Mind a hat oldalt éri a fagyhatás
Fedővel zárható, rozsdamentes tartály mérete	—	Széles: (120±15) mm Hossz: (260±15) mm Magas: (150±15) mm Falvastagság: kb. 1 mm	Alakja speciális. A próbatest és a tartály függőleges fala között (30±20) mm hely legyen. Falvastagság: (0,7±0,01) mm	—	—	—

7. táblázat folytatása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004		MSZ 4715-3:1972
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)	
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd *9. ábra*)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd *11. ábra*)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás	VISSZAVONT
Vizsgálat jellege	Peremes hámlasztás	Bemerítéses leválás	Kapilláris felszívásos hámlasztás	Bemerítéses leválás	Peremes hámlasztás	Hagyományos fagyasztás
Próbatestek előkészítése	21 nap: 2 db (50±2) mm vastagságú, azaz 50·150·150 mm-es próbatestet kell kivágni minden eredeti próbatestből. (25±1) nap: A (vágott) vizsgálati felület kivételével minden oldalra gumilemezt kell ragasztani. Perem-magasság: (20±1) mm. 28 napos kort követő (72±2) órában: (20±2) °C-os, 3 mm magas (kb. 67 ml) ionmentes vízréteget kell önteni a peremek közé. Vizsgálat megkezdése előtt: A próbatest öt oldalára (20±1) mm vastag polisztirolréteget kell ragasztani. Vizsgálat kezdetén a fagyasztó-kamrába helyezés (31 nap) előtt legalább 15 perccel: Az ionmentes vizet ki kell cserélni (20±2) °C-os, 3 mm magas (kb. 67 ml) fagyasztóközeggel, a polisztirolréteget polietilén-lemezzel kell takarni	27 nap: Próbatest lemérés után a tartályba kerül, és rá kell önteni a fagyasztóközeget, úgy, hogy a kockát (25±5) mm-rel ellepje. 28 nap: Meg kell határozni a kocka tömegét, és ki kell számítani a felvett fagyasztóközeg tömegét. Fagyasztókamrába helyezés: 28 nap	21-26 nap között: A próbatest oldalsó lapjait (4 oldal) vagy befedjük alumínium-fóliával és azt gumiragasztóval rögzítjük, vagy oldószer nélküli epoxi-gyantával tömítjük. 28 nap: Ultrahangfürdőben eltávolítjuk a próbatestről a szennyeződéseket. A próbatestet a vizsgálótartályba tesszük az (5±0,1) mm magas alátámasztásokra, a vizsgálati felülettel lefelé. Ezután beöntjük a fagyasztóközeget úgy, hogy rétegvastagsága 10 mm legyen. (A szabvány 7.4. szakasz második bekezdésének és a 7.5. feletti része a) pontjának szövege hibás, a 8. ábra helyes.) 29-35 nap: 7 nap a fagyasztóközeg felszívására, majd kezdődik a fagyasztás	28-35 nap: A fagyasztás kezdete	28-35 nap között, 7 napon át: Klímakamrában kell tárolni. Ez alatt idő alatt a próbatest öt oldalára, – a vizsgált felület körül (20±2) mm magas peremmel – gumi réteget kell ragasztani. A peremek közé (5±2) mm magasan (20±2) °C-os vizet kell önteni, és klímaszekrénybe kell tenni (72±2) óra hosszára. A fagyasztást 28-35 nap között kell elkezdeni. A vizsgálat megkezdése előtt a próbatest öt oldalára (20±1) mm vastag polisztirolréteget kell ragasztani. Vizsgálat kezdetén a fagyasztókamrába helyezés előtt 15-30 perccel a vizet ki kell cserélni (20±2) °C-os, (5±2) mm magas 3 %-os NaCl oldattal , és a próbatest polisztirol falát polietilén-fóliával le kell takarni	A fagyállóság vizsgálati próbatesteket 150 bar nyomás alatt vízzel kell telíteni, az ellenőrző próbatesteket a szilárdságvizsgálatig víz alatt kell tárolni. (A szabvány 4.4.6 szakasza így fogalmazott: „Mind a szabályos, mind a szabálytalan testeket a vizsgálat előtt *jelen szabvány szerint nyomás alatt* vízzel kell telíteni...” A nyomás mértéke egy másik, a „Vízfelvétel nyomás alatt” c. fejezetben, a 2.6.3 szakaszban szerepelt: 1,5 kN/cm^2. Akkoriban egy adat a szabványban csak egy helyen szerepelhetett. Ez az áttételes, rejtett megadásmód is hozzájárulhatott ahhoz, hogy *számos korabeli laboratórium a próbatesteket nem nyomás alatt, hanem fokozatos víztelítéssel készítette elő, miáltal lazította a feltételeket.*)

7. táblázat folytatása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004		MSZ 4715-3:1972
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)	
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd *9. ábra*)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd *11. ábra*)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás	VISSZAVONT
Vizsgálat jellege	Peremes hámlasztás	Bemerítéses leválás	Kapilláris felszívásos hámlasztás	Bemerítéses leválás	Peremes hámlasztás	Hagyományos fagyasztás
Próbatestek tárolása	0-(24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 7 nap: (20±2) °C csapvíz alatt 7 nap – vizsgálat kezdetéig: Klímakamrában, ahol kiszárad	0-(24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 7 nap: (20±2) °C csapvíz alatt 7 nap – 27 nap: Klímakamrában, ahol kiszárad	0-(24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 7 nap: (20±2) °C csapvíz alatt 7 nap – 28 nap: Klímakamrában, ahol kiszárad	0-(24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 28 nap: Végig víz alatt tárolt, vízzel telített	0-(24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 28 nap: Végig víz alatt tárolt	24 órás korig sablonban, +20±3 °C hőmérsékletű tároló-térben. 24 órás korban ki kell zsaluzni, és 7 napos korig (+20±3) °C hőmérsékletű, ivásra alkalmas víz alatt, majd a vizsgálatig szoba-levegőn
Hőmérsékletmérés	Legalább egy próbatest felületén a fagyasztóközegben	A kocka közepén	A folyadékhűtésű kád hűtőfolyadékában, a középső tartály alatt	Próbatest közepén	A próbatest NaCl oldattal elárasztott felületén	Fagyasztó-berendezés légterében
Hőmérséklet	Legnagyobb °C: (+24) – (+16) Legkisebb °C: (-18) – (-22)	Legnagyobb °C: (+22) – (+18) Legkisebb °C: (-13) – (-17)	Legnagyobb °C: (+21) – (+19) Legkisebb °C: (-19,5) – (-20,5)	Legnagyobb °C: (+5) – (+20) Legkisebb °C: (-12)	Legnagyobb °C: (+16) – (+24) Legkisebb °C: (-16) – (-20)	Legnagyobb °C: (+17) – (+23) Legkisebb °C: (-17) – (-23)
Teljes ciklusidő	24 óra	24 óra	12 óra	14 óra	24 óra	Hőntartás (+17) – (+23) °C-on legalább 2 óra, (-17) – (-23) °C-on legalább 4 óra
Ciklusok száma	56	56	CF vizsgálat: 56 CDF vizsgálat: 28	XF1 esetén: 50 XF3 esetén: 100 (XF = környezeti oszt.)	56	15, 25, 50, 100 vagy 150 a vizsgálat céljától függően

7. táblázat folytatása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004		MSZ 4715-3:1972
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)	
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd *9. ábra*)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd *11. ábra*)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás	VISSZAVONT
Vizsgálat jellege	Peremes hámlasztás	Bemerítéses leválás	Kapilláris felszívásos hámlasztás	Bemerítéses leválás	Peremes hámlasztás	Hagyományos fagyasztás
Olvasztás	Fagyasztókamrában fagyasztóközeggel a peremek között	A tartályokat a fagyasztóközegben lévő kockákkal és a (20±2) °C-os vizes kádba kell helyezni úgy, hogy a víz (20±5) mm-rel legyen a tartályok felső pereme alatt. Az olvasztási fázis ideje: 8 óra	Olvasztás alatt a próbatest a régi fagyasztóközegben áll, míg azt ki nem cseréljük friss folyadékra	Olvasztás (20±5) °C-os vízben	Fagyasztókamrában fagyasztóközeggel a peremek között	Olvasztás a légtérben történő fagyasztás esetén külön olvasztó-térben, a vízben történő fagyasztás során a fagyasztótérben. Olvasztásnál borítsa a próbatesteket legalább 100 mm vízréteg
Teendők a fagyasztás-olvasztás folyamata alatt. Megjegyzés: Valamennyi NaCl oldatos vizsgálat során tanácsos a leöntött oldatokat elemezni a betonból kioldott alkotók meghatározása céljából	(7±1), (14±1), (28±1) és 56 fagyasztási ciklus után az olvasztási fázisban a lehámlott anyag összegyűjtése, kiszárítása (110±10) °C-on, tömegmérése, és a fagyasztóközeg cseréje	(7±1), (14±1), (28±1) és 56 fagyasztási ciklus után az olvasztási fázisban a levált anyag összegyűjtése, a fagyasztás előtt új fagyasztóközeggel való feltöltése. Tartályok cseréje hetente, elforgatásuk és helycseréjük ciklusonként	CF vizsgálat: (14±1), (28±1), (42±1) és 56 fagyasztási ciklus után. CDF vizsgálat: (4±1), (6±1), (14±1) és 28 fagyasztási ciklus után mialatt a hőmérséklet 15 °C felett van. A vizsgáló-tartályt 3 percre bemerítjük az ultrahangfürdőbe. A lehámlott anyag összegyűjtése, kiszárítása (110±10) °C-on, tömegmérése, és a fagyasztóközeg cseréje	Legfeljebb 14 ciklusonként el kell forgatni a próbatestet 180°-kal	7 vagy 14 ciklusonként össze kell gyűjteni a lemállott részeket, és cserélni kell a NaCl oldatot	Külön táblázat intézkedik, hogy a ciklusszámtól függően mely felolvasztási ciklus végén kell tömegmérést végezni, a károsodásokat szemrevételezéssel megállapítani, esetleg roncsolásos vagy roncsolásmentes szilárdság vizsgálatot végezni. Ezek a ciklusszámok például 50 ciklusos fagyasztás esetén 25, 35, 50; 100 ciklusos fagyasztás esetén 50, 75, 100

7. táblázat folytatása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004		MSZ 4715-3:1972
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)	
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd *9. ábra*)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd *11. ábra*)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás	VISSZAVONT
Vizsgálat jellege	Peremes hámlasztás	Bemerítéses leválás	Kapilláris felszívásos hámlasztás	Bemerítéses leválás	Peremes hámlasztás	Hagyományos fagyasztás
Megjegyzés	A kockából kivágott próbatest egyikét ionmentes vízzel, a párját NaCl oldattal lehet vizsgálni. Így egy fagyasztóközegben 3 próbatestet lehet vizsgálni	—	CF: **C**apillary suction of water and **F**reeze thaw test (Fagyasztás-olvasztás ionmentes vízben kapilláris felszívás mellett) CDF: **C**apillary suction of **D**eicing solution and **F**reeze thaw test (Fagyasztás-olvasztás NaCl oldatban kapilláris felszívás mellett)	Az olvasztósó hatásának ki nem tett beton fagyállósága a „B” módszerrel is vizsgálható, ha a fagyasztóközeg víz. Ebben az esetben az elfogadási feltétel 56 ciklus után: Tömegveszteség legfeljebb: XF1: átl.: 250, max.: 350 g/m^2 XF3: átl.: 125, max.: 175 g/m^2	—	A roncsolásos nyomószilárdság vizsgálattal együtt roncsolásmentes vizsgálat is végezhető. Roncsolásmentes vizsgálat esetén a mért mechanikai és fizikai jellemző (pl. dinamikai rugalmassági modulus) változását és a fagyasztási ciklusszám közötti összefüggést kellett megadni
ALTERNATÍV vizsgálati lehetőség	- Más a kiindulási próbatest mérete, de a vastagsága mindig 50 mm legyen. - A vizsgált felület nem feltétlenül vágott. - NaCl helyett más olvasztószer. - Ciklusok száma megválasztható	- Más a kiindulási próbatest mérete, de a vastagsága és szélessége mindig 80-100 mm között legyen. - Más tárolási feltételek és korok. - NaCl helyett más olvasztószer. - Ciklusok száma megválasztható	- Más a kiindulási próbatest mérete, de a vastagsága mindig (70±5) mm legyen. - Más lehet az elválasztó lemezek helyzete, de akkor a próbatestet is másképp kell kialakítani. - Más tárolási feltételek és korok. - NaCl helyett más olvasztószer. - Ciklusok száma megválasztható	MSZ EN 12371:2002 szabvány az itt leírt általános „Technologische Prüfung (Verfahren A)” módszer mellett az „Identitätsprüfung (Verfahren B)” módszert is ismeri	—	A szabvány megengedi a víz alatti fagyasztást is.

7. táblázat folytatása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004		MSZ 4715-3:1972
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)	
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd *9. ábra*)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd *11. ábra*)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás	VISSZAVONT
Vizsgálat jellege	Peremes hámlasztás	Bemerítéses leválás	Kapilláris felszívásos hámlasztás	Bemerítéses leválás	Peremes hámlasztás	Hagyományos fagyasztás
Elfogadási határérték	—	—	CDF: max. 1500 g/m^2 A követelmény csak laboratóriumi próbatestek esetén érvényes	Tömegveszteség legfeljebb 5 tömeg%, nyomószilárdság csökkenés legfeljebb 20%	Tömegveszteség max.: XF2: átl.: 500, max.: 700 g/m^2 XF4: átl.: 250, max.: 350 g/m^2	Tömegveszteség vízzel telített állapotban legfeljebb 5 %, nyomószilárdság csökkenés legfeljebb 25 %

A fagyasztás–olvasztás hatására (modell-folyamat) a beton, ill. cementkő belső szerkezete (struktúrája) sérül, és ennek mértékét a beton „alaptulajdonságaira" (szilárdság, rugalmassági modulus stb.) roncsolásos és roncsolásmentes módszerrel lehet meghatározni. *Roncsolásos módszerként* – mint említettük – elsősorban a nyomószilárdság vizsgálatot alkalmazzák, de ajánlható az annál érzékenyebb hajlító-húzószilárdság vizsgálat is.

Roncsolásmentes módszer az ultrahang terjedési idő és a rezonancia-frekvencia mérés, amelyek eredményei a dinamikai rugalmassági modulus (E_{dyn}) változásáról adnak képet. „A fagyasztás során a mikro-repedések miatt a *Poisson*-szám megváltozik, ezért az ezt figyelembe vevő rezonancia-frekvenciás módszer megbízhatóbb, mint az ultrahangos eljárás. Amerikai kutatók rezonancia-frekvenciás méréssel mutatták ki, hogy a 350 – 400 kg/m^3 cementadagolású, légbuborékképzős kísérleti betonjaik kezdeti rugalmassági modulusa 300 fagyasztási ciklusig lényegében nem változott, de a légbuborékképző nélküli betonok nagy részének kezdeti rugalmassági modulusa 150 – 300 fagyasztási ciklus között az eredetinek 60 %-a alá esett. Svéd kutatók 40 – 140 N/mm^2 közötti nyomószilárdságú betonok fagyasztása során azt tapasztalták, hogy míg a légbuborékképző nélküli betonok önrezgésszáma 250 fagyasztási ciklus után kezdett csökkenni, és a megindult repedezés miatt a kezdeti rugalmassági modulus a kiindulásinak 80 %-ára csökkent, addig a légbuborékos betonok és az agyagkavics adalékanyagú könnyűbetonok rugalmassági modulusa 10 %-nál kevesebbet változott. A megfelelő pórusrendszerű könnyű-adalékanyag légbuborékrendszerként működik." (*Erdélyi*, 1996)

A beton belső szerkezete (struktúrája) fagyhatásra történő változásának (zavarának, sérülésének, károsodásának) vizsgálatával a CEN/TR 15177:2006 európai műszaki jelentés foglalkozik. A műszaki jelentés *Setzer* (2004) munkáján alapul. A fogalom-meghatározás szerint „belső szerkezeti zavar" vagy „belső szerkezetsérülés" alatt olyan repedések keletkezését kell érteni, amelyek kívülről nem láthatók, mégis a betontulajdonságok változását (pl. a dinamikai rugalmassági modulus csökkenését) okozzák. A műszaki jelentés kidolgozói úgy vélik, hogy a gyakorlatban előforduló fagyási-olvadási feltételeket egyetlen vizsgálati módszerrel modellezni nem lehet, ezért három eljárást tesznek közzé, amelyek különböző európai országokban beváltak, és mindig megfelelő eredményekre vezettek. Ezek az eljárások arra nem értek meg, hogy valamelyiküket referencia vizsgálatként jelöljék meg, ezért ha két laboratórium azonos betont vizsgál, akkor a vizsgálati módszerben és mérési eljárásban meg kell, hogy állapodjon. Követelmény értékek alkalmazásához módszerenként meg kell határozni a laboratóriumi vizsgálati eredmények és a beton gyakorlati állapota közötti összefüggést, ugyanis a három vizsgálati módszer eredménye között nincs szoros korreláció. A CEN/TR 15177:2006 európai műszaki jelentés a hasáb-vizsgálatot, a lemez-vizsgálatot és a CIF-vizsgálatot (**C**apillary suction **I**nternal damage and **F**reeze thaw test) tartalmazza. A CEN/TR 15177:2006 szerinti vizsgálatok alapvetően hasonlítanak az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatokhoz, azzal a különbséggel, hogy ezekkel a vizsgálatokkal nem a fagyasztási ciklusok okozta tömegveszteséget, hanem a roncsolásmentes vizsgálatok eredményének változását, ill. esetenként a hosszméret-változást és kiegészítésként a vízfelvételt kell meghatározni. Ezeket a vizsgálatokat a fagyállóság vizsgálat előtt (kezdeti mérési eredmény), majd a (7 ± 1), (14 ± 1), (28 ± 1), (42± 1) és 56 olvasztási ciklust követően kell elvégezni.

A roncsolásmentes vizsgálatok relatív eredményének négyzete arányos a relatív dinamikai rugalmassági modulussal (RDM):

A relatív dinamikai rugalmassági modulus a *keresztirányú önrezgésszám* mérése esetén az *n*-edik olvasztási ciklus után:

$$RDM_{FF,n} = (f_n/f_0)^2 \cdot 100 \quad [\%]$$

ahol: f_n a keresztirányú önrezgésszám az *n*-edik olvasztási ciklus után, [Hz]
f_0 a kezdeti (az első fagyasztási ciklus előtt mért) keresztirányú önrezgésszám, [Hz]

A relatív dinamikai rugalmassági modulus az *ultrahang terjedési idejének* mérése esetén az *n*-edik olvasztási ciklus után:

$$RDM_{\mathrm{UPTT,n}} = (t_{\mathrm{S,0}}/t_{\mathrm{S,n}})^2 \cdot 100 \quad [\%]$$

ahol: $t_{\mathrm{S,0}}$ a kezdeti (az első fagyasztási ciklus előtt mért) ultrahang terjedési idő, [µs]
$t_{\mathrm{S,n}}$ az ultrahang terjedési idő az *n*-edik olvasztási ciklus után, [µs]

A CEN/TR 15177:2006 szerinti *hasáb-vizsgálat* során a sablonban készült 400·100·100 mm méretű próbahasábokat 1 napos korban ki kell zsaluzni, 7 napos korig műanyagfóliába csomagolva levegőn, majd kicsomagolva 7 napos kortól 28 napos korig víz alatt kell tárolni. A „*bemerítéses*" fagyállóság vizsgálatot a vízből való kiemelés után legkésőbb 2 órával el kell kezdeni, és az erre a célra készített próbatest közepén mért hőmérséklettel a fagyasztási diagramot követve kell végezni. A fagyasztóközeg ionmentes víz, a fagyasztási-olvasztási ciklusok száma 56, de több is lehet. A hullámokat elnyelő anyagra (pl. habanyagra) fektetett hasábokon keresztirányban a relatív önrezgésszám és hosszirányban a relatív ultrahang terjedési idő változását kell meghatározni az idő függvényében. A roncsolásmentes vizsgálatokkal egyidőben meg kell mérni a próbatestek vízfelvételét is.

A CEN/TR 15177:2006 szerinti *lemez-vizsgálat* 150·150·50 mm méretű próbatestét 150 mm méretű, 1 napos korban kizsaluzott, 7 napos korig víz alatt, azt követően 28 napos korig klímaszekrényben tárolt próbakockából, 21 napos korban, a próbakocka lesimított felületére merőlegesen kell kivágni. A vizsgálati felület a kocka felezősíkjának vágott felülete. A kivágott próbatest alsó lapjára és oldalaira – a vizsgált 150·150 mm méretű, vágott lap kivételével – gumilapokat kell ragasztani, amelyek az oldalakon peremet képezve 20 mm-rel túlnyúlnak, és külső hőszigetelést kapnak. A „*peremes*" fagyállóság vizsgálat 28 napos korban, a vizsgált felület ionmentes vízzel, 72 órán át tartó telítésével kezdődik, és a fagyasztószekrényben folytatódik. A peremek közé kerülő fagyasztóközeg ionmentes víz vagy 3 %-os nátrium-klorid oldat, amelynek rétegvastagsága 3 mm. A hőmérsékleti diagramot a fagyasztóközegben, a vizsgált felület közepén mért hőmérséklettel kell követni. A fagyasztási-olvasztási ciklusok száma 56, de több is lehet. A hosszméret-változást (referencia-vizsgálat) hárompontos, mérőórás eszközzel, két szemben lévő oldallapra erősített mérőpont között kell vizsgálni. A keresztirányú önrezgésszámot (alternatív vizsgálat) a vizsgált 150·150 mm méretű felületen, az ultrahang terjedési időt (alternatív vizsgálat) két szemben lévő oldallap között kell megmérni, miközben a próbalemez habanyagon fekszik. A lemez-vizsgálat során a hosszméret-változást, a relatív keresztirányú önrezgésszám és a relatív hosszirányú ultrahang terjedési idő változását kell meghatározni az idő függvényében.

A CEN/TR 15177:2006 szerinti *CIF-vizsgálat* próbatesteinek mérete, tárolása és a fagyállóság vizsgálat lényegében megegyezik az MSZ EN 12390-9:2007 szabvány szerinti „*kapilláris felszívásos*" vizsgálattal. A fagyasztás a 28 napos korban kezdett, 7 napig tartó, (20 ± 2) °C hőmérsékleten végzett folyadék-felszívást követően kezdődik. A fagyasztóközeg a vizsgálótartályban lévő 10 mm rétegvastagságú ionmentes víz vagy 3 %-os nátrium-klorid oldat. A CIF-vizsgálat során az ultrahang terjedési időt (referencia-vizsgálat) a pl. plexi tartóba helyezett próbatest két-két szemben lévő oldallapja között, a hosszméret-változást (alternatív vizsgálat) két szemben lévő oldallap között kell megmérni. A keresztirányú önrezgésszám (alternatív vizsgálat) vizsgálatához a próbatestet a vizsgált 140·150 mm méretű vizsgálati felülettel lefele a hullámnyelő habanyagra kell fektetni, és a keresztirányú önrezgésszámot a felső felületen kell vizsgálni. A CIF-vizsgálat során a hosszméret-változást, a relatív keresztirányú önrezgésszám és a relatív hosszirányú ultrahang terjedési idő változását kell meghatározni az idő függvényében. A roncsolásmentes vizsgálatokkal egyidőben meg kell mérni a próbatestek vízfelvételét is.

Végül a betonok fagy- és olvasztósó-állóságával kapcsolatban megjegyezzük, hogy az – mint ismeretes – a beton áteresztőképességének is függvénye. A beton áteresztőképességéről,

ill. a sóoldat kapilláris felszívódásáról a kloridionok behatolásával szembeni ellenállóképesség ASTM C 1207:1997 szabvány szerinti 6 órás gyorsvizsgálata adhat tájékoztatást.

6. A FELÜLETI BEVONAT FAGY- ÉS OLVASZTÓSÓ-ÁLLÓSÁG VIZSGÁLATA

A *betonszerkezetek védelmére és javítására* szolgáló cement (CC: Cement-Concrete), műanyag-cement (PCC: Polimer-Cement-Concrete) és műanyag (PC: Polimer-Concrete) kötőanyagú finomhabarcs, habarcs és beton felületi bevonatok és rendszerek fagy-, olvasztósó- és hőállóságának vizsgálatára külön szabványokat dolgoztak ki (MSZ EN 13687 sorozat). A próbatestek előírt módon szilárdított felületi bevonatokkal (feltehetően a vizsgálati felületen) ellátott 300·300·100 mm méretű, MSZ EN 1766:2000 szerinti referencia betonból készített lapok, amelyeket a vizsgálat előtt a hátoldal és az oldallapok folyadékfelvétele ellen a vizsgált 300·300 mm méretű felület kivételével hőre szilárduló gyantával kell bevonni. A próbatestek száma három, ebből egy referencia próbatest. A vizsgálatok ciklusszáma 10, a ciklusokat az MSZ EN 1504-2:2005, ill. MSZ EN 1504-3:2006 szabványban előírtak szerint egyszer kell megismételni. (Az előírt 20 ciklus a hazai időjárási körülmények között nem feltétlenül elegendő.) A próbatesteknek a vizsgálatot meghibásodás és elváltozás nélkül kell viselniük. A fagyasztási-olvasztási ciklusok után a próbatesteket laboratóriumi körülmények között [(21 ± 2) °C levegő hőmérséklet és (60 ± 10) % relatív levegő nedvességtartalom] legalább 7 napon át kell tárolni, majd ezután meg kell vizsgálni a felületi bevonat, ill. rendszer tapadó-húzószilárdságát az MSZ EN 1542:2000 szabvány szerint. Ha a bevonat a gyakorlatban függőleges felületre kerül, akkor a tapadó-húzószilárdság átlaga legalább 0,8 N/mm^2, legkisebb értéke legalább 0,5 N/mm^2; ha terhelés nélküli vízszintes felületre kerül, akkor az átlag legalább 1,0 N/mm^2, a legkisebb érték legalább 0,7 N/mm^2; ha terhelt vízszintes felületre kerül, akkor az átlag legalább 1,5 N/mm^2, a legkisebb érték legalább 1,0 N/mm^2 kell legyen.

Az MSZ EN 13687-1:2002 szabvány a felületi bevonattal ellátott beton próbatestek olvasztósó oldatba merítéses fagy- és olvasztósó-állósági vizsgálatával foglalkozik. A fagyasztás (-15 ± 2) °C hőmérsékletű telített nátrium-klorid oldatban, az olvasztás (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízben történik. Mindkét fázis hossza 2 óra, a ciklusidő tehát 4 óra.

MSZ EN 13687-3:2002 szabvány a felületi bevonattal ellátott beton próbatestek fagy- és hőállósági vizsgálatát írja le, olvasztósóoldat hatása nélkül. A vizsgálat referencia-eszköztára (-15 ± 2) °C hőmérsékletű fagyasztó légtér, (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízfürdő és (60 ± 2) °C hőmérsékletű melegítő légtér előállítására alkalmas berendezésekből áll, amelyek között a próbatesteket kézzel mozgatják. A vizsgálat programozható fagyasztó-temperáló-fűtő berendezéssel is végezhető. A ciklus kézi mozgatású vizsgálat esetén a következő fázisokból áll: 2 óra (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízben, 4 óra fagyasztás (-15 ± 2) °C hőmérsékletű légtérben, 2 óra (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízben, 16 óra hevítés (60 ± 2) °C hőmérsékletű légtérben. A ciklusidő tehát 24 óra. Programozható berendezés alkalmazásakor a lehűtés és felmelegítés időigénye miatt a hevítés ideje 10 óra, a fagyasztás és felhevítés között a vízfürdő ideje 75 perc, a hőntartás után 105 perc. A ciklusidő ez esetben is 24 óra.

7. KÖVETKEZTETÉSEK

A betont használati élettartama alatt érő környezeti hatások egyike a fagy-, ill. a fagy- és olvasztósó-hatás, amelynek a tartós beton ellenáll. Várható, hogy a beton fagyálló, ill. fagy- és olvasztósó-álló, ha tulajdonságai megfelelnek a *2. táblázat* szerinti fagy- és olvasztósó-állósági környezeti osztályok követelményeinek. Az MSZ 4798-1:2004 szerinti betonok fagy- és olvasztósó-állóságát európai vizsgálati szabványok alapján kell elvégezni. Az európai vizsgálati módszerek kisebb-nagyobb mértékben eltérnek a korábbi hazai eljárásoktól.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány kétféle fagyállóság, ill. fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot ismer: vagy a beton *belső*, szerkezeti sérülését (*„A" eset*), vagy a beton *külső*, felületi hámlását (*„B" eset*) vizsgálja:

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„A" esete* szerint a vízszintes felületű beton fagyállóságát, ha a beton olvasztósó hatásának nincs kitéve, (azaz környezeti osztálya XF3) a legalább 28 napos, de legfeljebb 35 napos korú és vízzel telített próbatesteken kell vizsgálni az MSZ EN 12371:2002 szabvány szerint. Ezt az eljárást idővel fel fogja váltani a belső szerkezeti fagykárosodásokat vizsgáló európai módszer, amely jelenleg még csak európai műszaki jelentés (CEN/TR 15177:2006) formájában érhető el.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának *„B" esete* szerint (az MSZ 1338:2003 szabványt követve), ha a beton fagynak és olvasztósó hatásának is ki van téve (azaz környezeti osztálya XF2 vagy XF4), akkor a megszilárdult beton fagy- és olvasztósó-állóságát ugyancsak legalább 28 napos, de legfeljebb 35 napos korú és vízzel telített, és öt oldalán gumiréteggel körülragasztott, a vizsgált felületen túlnyúló peremmel körülhatárolt, a peremen belül 3 százalékos, 3 mm mélységű nátrium-klorid oldattal feltöltött próbatesteken kell, ún. peremes hámlasztásos eljárással vizsgálni az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány referencia módszere szerint. Ebben a szabványban a referencia módszeren kívül két alternatív fagyasztási vizsgálati módszer található, az egyikkel a bemerítéses leválás, a másikkal a kapilláris felszívásos hámlasztás vizsgálható. Az utóbbit, ha a fagyasztóközeg ionmentes víz, *CF-vizsgálatnak*, ha nátrium-klorid oldat, *CDF-vizsgálatnak* nevezik. Irodalmi ajánlások alapján fagy- és olvasztósó-állónak tekintik a betont, ha a laboratóriumi próbatesten végzett CDF-vizsgálat során, 28 fagyasztási-olvasztási ciklus után a hámlási veszteség legfeljebb 1500 g/m^2. A módszerek mind ionmentes vízzel, mind nátrium-klorid oldattal alkalmazhatók.

A CEN/TR 15177:2006 műszaki jelentés hasáb-vizsgálatot, lemez-vizsgálatot és a *CIF*-vizsgálatot tartalmazza. Ezek a vizsgálatok alapvetően hasonlítanak az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatokhoz, azzal a különbséggel, hogy ezekkel a vizsgálatokkal nem a fagyasztási ciklusok okozta tömegveszteséget, hanem a roncsolásmentes vizsgálatok eredményének változását kell meghatározni.

A betonszerkezetek védelmére és javítására szolgáló cement (CC), műanyag-cement (PCC) és műanyag (PC) kötőanyagú finomhabarcs, habarcs és beton felületi bevonatok és rendszerek fagy- és olvasztósó-állóságának vizsgálatát az MSZ EN 13687-1:2002 szabvány szerint, fagy- és hőállóság vizsgálatát az MSZ EN 13687-3:2002 szabvány szerint kell elvégezni. A fagy és a hő hatását a tapadó-húzószilárdságra gyakorolt hatással fejezik ki.

8. HIVATKOZOTT SZABVÁNYOK, MŰSZAKI ELŐÍRÁS

MNOSZ 934:1949 „Beton és alapanyagainak vizsgálata". Módosította, ill. hatálytalanította az MNOSZ 934:1951 szabvány

MSZ 4715:1955 „Megszilárdult beton vizsgálata"

MSZ 4715:1961 „Megszilárdult beton vizsgálata"

MSZ 4715-3:1972 „Megszilárdult beton vizsgálata. Hidrotechnikai tulajdonságok"

MSZ 4719:1958 „A betonok fajtái és jelölésük"

MSZ 4798-1:2004 „Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon"

MSZ 18289-1:1978 „Építési kőanyagok időállóság-vizsgálata. Értékelés"

MSZ 18289-3:1985 „Építési kőanyagok időállóságvizsgálata. Szulfátos kristályosítás"

MSZ 18291:1978 „Zúzottkő"

MSZ 18293:1979 „Homok, homokos kavics és kavics"

MSZ EN 206-1:2002 „Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség"

MSZ EN 480-11:2006 „Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. Vizsgálati módszerek. 11. rész: A megszilárdult beton légbuborék-jellemzőinek meghatározása”

MSZ EN 934-2:2002 „Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 2. rész: Betonadalékszerek. Meghatározások, követelmények, megfelelőség, jelölés és címkézés”

MSZ EN 1097-6:2001 „Kőanyaghalmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 6. rész: A testsűrűség és a vízfelvétel meghatározása”

MSZ EN 1338:2003 „Beton útburkoló elemek. Követelmények és vizsgálati módszerek”

MSZ EN 1339:2003 „Beton jádalapok. Követelmények és vizsgálati módszerek”

MSZ EN 1340:2003 „Beton útszegélyelemek. Követelmények és vizsgálati módszerek”

MSZ EN 1367-1:2007 „Kőanyaghalmazok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálata. 1. rész: A fagyállóság meghatározása”

MSZ EN 1367-2:1999 „Kőanyaghalmazok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálati módszerei. 2. rész: Magnézium-szulfátos eljárás”

prEN 1367-6:2006 „Tests for thermal and weathering properties of aggregates – Part 6: Resistance to freezing and thawing in the presence of salt”, ill. „Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen – Teil 6: Beständigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel in der Gegenwart von Salz”

DIN EN 1367-6:2008 „Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen – Teil 6: Beständigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel in der Gegenwart von Salz (NaCl); Deutsche Fassung EN 1367-6:2008”

MSZ EN 1504-2:2005 „Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés. 2. rész: A beton felületvédelmi rendszerei”

MSZ EN 1504-3:2006 „Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés. 3. rész: Szerkezeti és nem szerkezeti javítás”

MSZ EN 1542:2000 „Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A tapadószilárdság meghatározása leszakítással”

MSZ EN 1766:2000 „Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. Referenciabetonok vizsgálathoz”

MSZ EN 12350-7:2000 „A friss beton vizsgálata. 7. rész: Légtartalom. Nyomásmódszerek”

MSZ EN 12371:2002 „Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. A fagyállóság meghatározása”

prEN 12390-9:2002 „Testing hardened concrete – Part 9: Freeze-thaw resistance – Scaling”, ill. „Prüfung von Festbeton, Teil 9: Frost- und Frost- Tausalz-Widerstand, Abwitterung”

MSZ CEN/TS 12390-9:2007 „A megszilárdult beton vizsgálata. 9. rész: Fagyállóság. Lehámlás”, Műszaki előírás, amely a prEN 12390-9:2002 szabványtervezetet felváltotta.

MSZ EN 12620:2003 „Kőanyaghalmazok (adalékanyagok) betonhoz”. A 2006 évi kiadás tartalmazza az EN 12620:2002/AC:2004 számú módosítást is.

MSZ EN 13242:2003 „Kőanyaghalmazok műtárgyakban és útépítésben használt kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú anyagokhoz”

MSZ EN 13687-1:2002 „Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A hőmérséklet-változással kapcsolatos tűrőképesség (összeférhetőség) meghatározása. 1. rész: Fagyasztási-olvasztási ciklusok olvasztósó oldatba merítéssel”

MSZ EN 13687-3:2002 „Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A hőmérséklet-változással kapcsolatos tűrőképesség (összeférhetőség) meghatározása. 3. rész: Hőmérséklet-változási ciklusok olvasztósóoldat hatása nélkül”

CEN/TR 15177:2006 „Testing the freeze-thaw resistance of concrete – Internal structural damage”, ill. „Prüfung des Frost-Tauwiderstandes von Beton – Innere Gefügestörung”, Műszaki jelentés

MSZ-07-3114:1991 „Útépítési zúzott kőanyag”, Közlekedési ágazati szabvány

ÚT 2-3.601:1998 „Útépítési zúzott kőanyagok”, Útügyi műszaki előírás

ÚT 2-3.601:2006 „Útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok”, Útügyi műszaki előírás

ÚT 2-3.601-1:2008 „Útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok. 1. rész: Kőanyaghalmazok utak, repülőterek és más közforgalmi területek aszfaltkeverékeihez és felületi bevonataihoz”, Útügyi műszaki előírás

ÚT 2-3.601-2:2009 „Útépítési zúzottkövek és zúzottkavicsok. 2. rész: Kőanyaghalmazok út-, pálya- és hídbetonokhoz”, Útügyi műszaki előírás

BV-MI 01:2005 „Betonkészítés bontási, építési és építőanyag-gyártási hulladék újrahasznosításával”, Beton- és vasbetonépítési műszaki irányelv. *fib* (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozata

EN 206-1:2000 „Concrete. Part 1: Specification, performance, production and conformity”, ill. „Béton. Partie 1: Spécification, performances, production et conformité” vagy „Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität”

ASTM C 457:1998 „Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete”

ASTM C 1202:1997 „Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration”

DIN 1045-2:2001 „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendunsregeln zu DIN EN 206-1”, a DIN EN 206-1 európai szabvány német nemzeti alkalmazási dokumentuma

DIN 52104 „Prüfung von Naturstein. Frostbeständigkeit” 1976 előtti kiadás

TL Beton-StB 07:2007 „Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton”, a német Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (Köln) útbeton műszaki szállítási feltételei

TL Gestein-StB 04:2007 „Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau”, a német Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (Köln) útbeton adalékanyag műszaki szállítási feltételei

TP Gestein-StB:2008 „Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau”, a német Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (Köln) útépítési kőanyag vizsgálati előírása

ÖNORM B 4710-1:2007 „Beton – Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis”, az ÖNORM EN 206-1 európai szabvány osztrák nemzeti alkalmazási dokumentuma

SS 137003:2002 „Betong – Användning av EN 206-1 i Sverige”, az SS-EN 206-1 európai szabvány svéd nemzeti alkalmazási dokumentuma

9. HIVATKOZÁSOK

Balázs Gy. (1997), „A beton károsodásának okai fagy és légköri szennyeződések hatására”, fejezet a „Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája I. Általános diagnosztikai vizsgálatok” c. könyvben (szerk. Balázs Gy. és Tóth E.), *Műegyetemi Kiadó*, Budapest

Bilgeri, P. – Eickschen, E. – Felsch, K. – Klaus, I. – Vogel, P. – Rendchen, K. (2007), „Verwendung von CEM II- und CEM III-Zementen in Fahrbahndeckenbeton”, *Beton-Informationen*, No. 2., pp. 15-31.

Bollmann, K. – Lyhs, P. (2005), „Hüttensandhaltiger Zement für Betonfahrbahndecken – CEM II/B-S 42,5 N (st)”, *Beton-Informationen*, No. 5., pp. 91-100.

Erdélyi A. (1983), „Beton- és habarcskiegészítő anyagok", fejezet az „Építőanyag praktikum" c. könyvben (szerk.: Balázs Gy.), pp. 181-210., *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest

Erdélyi A. (1996), „Légpórusrendszer és betontartósság", fejezet a „Betonszerkezetek tartóssága" c. konferencia kiadványban (szerk.: Balázs Gy. és Balázs L. Gy.), pp. 129-138., *Műegyetemi Kiadó*, Budapest

Erdélyi A. – Zimonyi Gy. (1997), „A megszilárdult beton légbuborék-szerkezetének vizsgálata", fejezet a „Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája I. Általános diagnosztikai vizsgálatok" c. könyvben (szerk. Balázs Gy. és Tóth E.), pp. 164-179., *Műegyetemi Kiadó*, Budapest

Erdélyi A. – Csányi E. – Kopecskó K. – Borosnyói A. – Fenyvesi O. (2007), „Acélszálas betonok tönkremenetele: Fagyasztás – olvasztás és sózás 1. rész: Tudományos háttér, módszerek összehasonlítása", *Vasbetonépítés*, IX. évfolyam, 2. szám, pp. 45-55., 2. rész: „Állapotromlás, az eredmények értékelése, következtetések", *Vasbetonépítés*, IX. évfolyam, 3. szám, pp. 72-83.

Erdélyi A. – Csányi E. – Kopecskó K. – Borosnyói A. – Fenyvesi O. (2008), „Fagyasztás és sózás hatása acélszálas betonokra", fejezet a „Betonszerkezetek tartóssága" c. konferencia kiadványban (szerk.: Balázs Gy. és Balázs L. Gy.), pp. 85-102., *Műegyetemi Kiadó*, Budapest

Graf, O. (1950), „Die Eigenschaften des Betons", *Springer-Verlag*, Berlin-Göttingen-Heidelberg

Hummel, A. (1959), „Das Beton-ABC", *Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn*, Berlin

Kausay T. (2004), „Beton adalékanyagok szemmegoszlási jellemzőinek számítása grafoanalitikus módon", *Vasbetonépítés,* VI. évfolyam, 1. szám, pp. 3-11.

Lang, E. (2003), „Einfluss unterschiedlicher Karbonatphasen auf den Frost-Tausalzwiderstand – Labor- und Praxisverhalten", *Beton-Informationen*, No. 3., pp. 39-57.

Lohaus, L. (2007), „Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken im Wasserbau", 2. Krefelder Planertag am 31. Oktober 2007, *Gütegemeinschaft Planung der Instandhaltung von Betonbauwerken e. V.*, Krefeld

Pade, C., Jakobsen, U. H., Elsen, J. (2002), „A New Automatic Analysis System for Analyzing the Air Void System in Hardened Concrete", Proceedings of the International Cement Microscopy Association, pp. 204-213., *ed. Jany, L, and Nisperos, A.*, San Diego,

Palotás L. (1952), „Minőségi beton", *Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat*, Budapest

Setzer, M. J. (1990), „Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes von Betonwaren", *Universität GH Essen*, Forschungsberichte aus dem Fachbereich Bauwesen Nr. 49.

Setzer, M. J. (2000), „Die Mikroeislinsenpumpe – Eine neue Sicht bei Frostangriff und Frostprüfung", fejezet a *14. Ibausil Konferencia* kiadványában, 1. kötet., Weimar

Setzer, M. J. (2002), „Frostschaden – Grundlagen und Prüfung", *Beton und Stahlbeton*, 97. kötet, pp. 350-359.

Setzer, M. J. (2004), „CIF Test – Testmethode zur Bestimmung des Frostwiderstands von Beton (CIF) – RILEM Recommendation TC 117-FDC: CIF-Test: Capillary suction, internal damage and freeze thaw test – Referenze method and alternative methods A and B", *Materials and Structures*, Vol. 37., pp. 743-753.

Szabó J. (2006), „Az európai és a nemzetközi szabványosítás folyamatai", *Anyagvizsgálók Lapja*, 1. szám, pp. 1-3.

Ujhelyi J. (2005), „Beton-ismeretek", *Műegyetemi Kiadó*, Budapest

„Zement Taschenbuch" (2002), *Verein Deutscher Zementwerke e. V.*, Düsseldorf

A beton tervezett környezeti osztálya, feltéve, hogy összetétele és nyomószilárdsági osztálya a környezeti osztály szerinti követelményeknek megfelel

XF1

XF3(H)

A fagyállósági vizsgálat elhagyásában meg kívánnak-e egyezni?

Igen

Nem

1

A fagyállósági vizsgálat megegyezés esetén elhagyható, ha a beton összetétele az MSZ 4798:2016 szabvány F1. táblázatbeli XF1 környezeti osztály szerinti követelménynek megfelel.

A fagyállósági vizsgálat módszerében meg kell egyezni, és a vizsgálatot el kell végezni.

A fagyállósági vizsgálat módszerében meg kell egyezni, és a vizsgálatot el kell végezni.

A fagyállósági vizsgálat eredménye megfelel-e a tervezési élettartam és az XF1 környezeti osztály szerinti követelményeknek?

Nem

A fagyállósági vizsgálat eredménye megfelel-e a tervezési élettartam és az XF3(H) környezeti osztály szerinti követelményeknek?

Meg lehet vizsgálni, hogy a fagyállósági vizsgálat eredménye megfelel-e a tervezési élettartam és az XF1 környezeti osztály szerinti követelményeknek.

Nem

A beton nem fagyálló.

Igen

Igen

A beton az XF1 környezeti osztály feltételei között fagyálló.

A beton az XF3(H) környezeti osztály feltételei között fagyálló.

1. ábra: Légbuborék nélküli, olvasztósó hatásának ki nem tett, ionmentes vízben fagyasztott, XF1 és XF3(H) környezeti osztályú beton fagyállósági vizsgálatának folyamatábrája

A beton tervezett környezeti osztálya, feltéve, hogy összetétele és nyomószilárdsági osztálya a környezeti osztály szerinti követelményeknek megfelel

XF3

1

A fagyállósági vizsgálat megegyezés esetén elhagyható, ha a szilárd beton légbuborék-szerkezete az MSZ 4798:2016 szabvány NAD 10. táblázat szerinti követelményeknek megfelel.

A fagyállósági vizsgálat elhagyásában meg kívánnak-e egyezni?

Igen

A szilárd beton légbuborék-szerkezetét meg kell vizsgálni.

Nem

A szilárd beton légbuborék-szerkezete megfelel-e az XF3 környezeti osztály szerinti követelményeknek?

Nem

2

A fagyállósági vizsgálat módszerében meg kell egyezni, és a vizsgálatot el kell végezni.

2

2

Megállapodás tárgyát képezi, figyelembe veszik-e, hogy a szilárd beton légbuborék-szerkezete nem felel meg az XF3 környezeti osztály szerinti követelménynek, és a betont nem tekintik fagyállónak; vagy a meg nem felelő légbuborék-szerkezet ellenére elvégzik a fagyállósági vizsgálatot, és a beton fagyállóságát nem a szilárd beton légbuborék-szerkezete, hanem mégis inkább a fagyállósági vizsgálat eredménye alapján ítélik meg.

Igen

A fagyállósági vizsgálat eredménye megfelel-e a tervezési élettartam és az XF3 környezeti osztály szerinti követelményeknek?

Nem

A beton nem fagyálló.

Igen

A beton az XF3 környezeti osztály feltételei között fagyálló.

2. ábra: Légbuborékképző adalékszerrel készített, olvasztósó hatásának ki nem tett, ionmentes vízben fagyasztott, XF3 környezeti osztályú beton fagyállósági vizsgálatának folyamatábrája

A beton tervezett környezeti osztálya, feltéve, hogy összetétele és nyomószilárdsági osztálya a környezeti osztály szerinti követelményeknek megfelel

XF2

XF4

A fagy- és olvasztósóállósági vizsgálat megegyezés esetén elhagyható, ha a szilárd beton légbuborék-szerkezete az MSZ 4798:2016 szabvány NAD 10. táblázat szerinti követelményeknek megfelel.

1

1

A fagy- és olvasztósóállósági vizsgálat elhagyásában meg kívánnak-e egyezni?

Igen

Nem

A szilárd beton légbuborék szerkezetét meg kell vizsgálni.

Meg lehet vizsgálni, hogy a szilárd beton légbuborék szerkezete megfelel-e az XF2 környezeti osztály szerinti követelményeknek.

A fagy- és olvasztósóállósági vizsgálat elhagyásában meg kívánnak-e egyezni?

Igen

Nem

A szilárd beton légbuborék szerkezetét meg kell vizsgálni.

2

A szilárd beton légbuborék szerkezete megfelel-e az XF4 környezeti osztály szerinti követelményeknek?

Igen

Nem

2

A szilárd beton légbuborék szerkezete megfelel-e az XF2 környezeti osztály szerinti követelményeknek?

Nem

2

A fagy- és olvasztósóállósági vizsgálati módszerben meg kell egyezni, és a vizsgálatot el kell végezni.

A fagy- és olvasztósóállósági vizsgálati módszerben meg kell egyezni, és a vizsgálatot el kell végezni.

2

Megállapodás tárgyát képezi, figyelembe veszik-e, hogy a szilárd beton légbuborék-szerkezete nem felel meg a szóban forgó környezeti osztály szerinti követelménynek, és a betont nem tekintik fagy- és olvasztósóállónak; vagy a meg nem felelő légbuborék-szerkezet ellenére elvégzik a fagy- és olvasztósóállósági vizsgálatot, és a beton fagy- és olvasztósóállóságát nem a szilárd beton légbuborék-szerkezete, hanem mégis inkább a fagy- és olvasztósóállósági vizsgálat eredménye alapján ítélik meg.

A fagy- és olvasztósóállósági vizsgálat eredménye megfelel-e a tervezési élettartam és az XF2 környezeti osztály szerinti követelményeknek?

Nem

Igen

A beton nem fagy- és olvasztósóálló.

A beton az XF2 környezeti osztály feltételei között fagy- és olvasztósóálló.

Meg lehet vizsgálni, hogy a fagy- és olvasztósóállósági vizsgálat eredménye megfelel-e a tervezési élettartam és az XF2 környezeti osztály szerinti követelményeknek.

Nem

A fagy- és olvasztósóállósági vizsgálat eredménye megfelel-e a tervezési élettartam és az XF2 környezeti osztály szerinti követelményeknek?

Nem

Igen

A beton nem fagy- és olvasztósóálló.

A beton az XF2 környezeti osztály feltételei között fagy- és olvasztósóálló.

A fagy- és olvasztósóállósági vizsgálat eredménye megfelel-e a tervezési élettartam és az XF4 környezeti osztály szerinti követelményeknek?

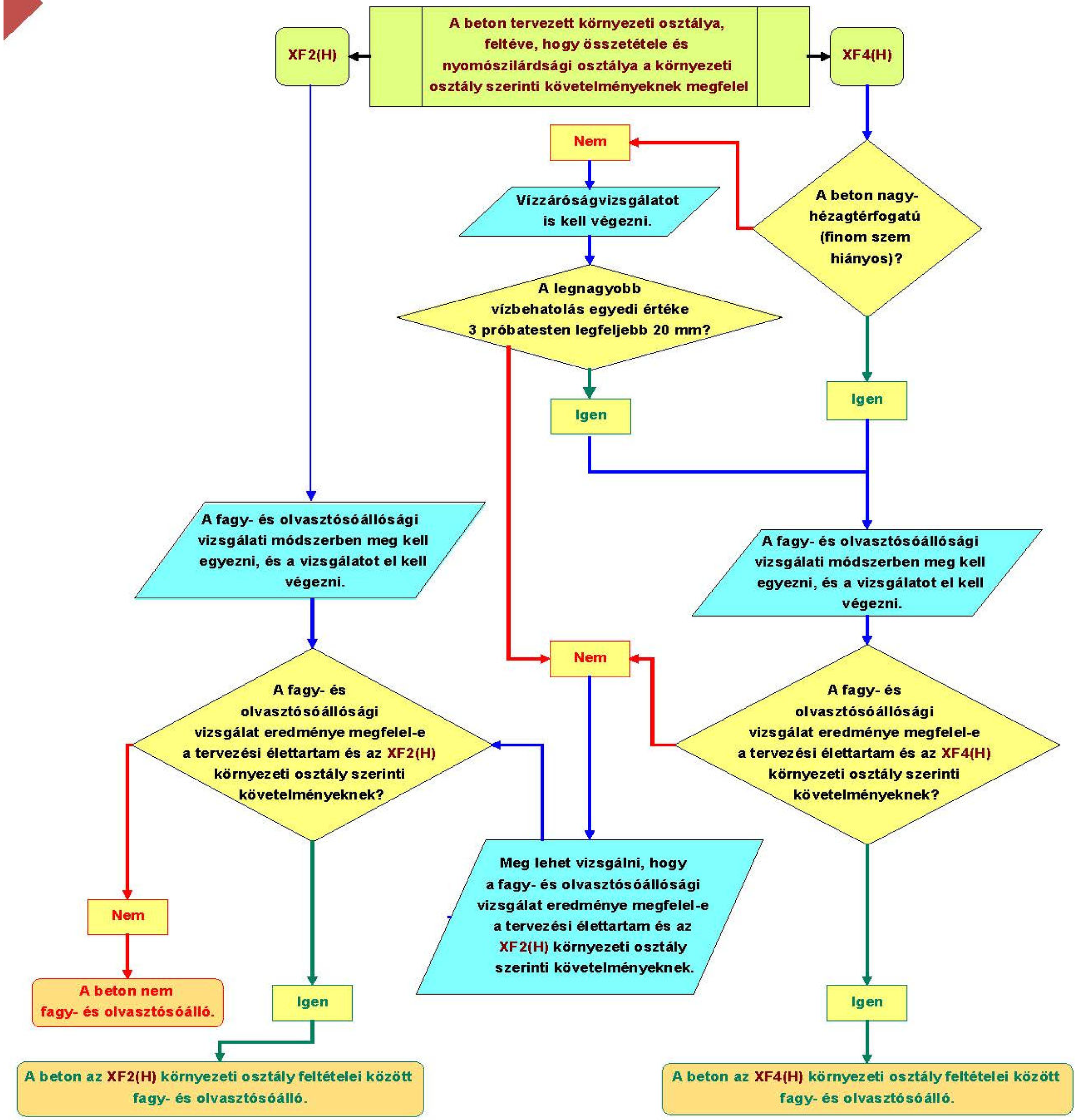
Nem

Igen

A beton nem fagy- és olvasztósóálló.

A beton az XF4 környezeti osztály feltételei között fagy- és olvasztósóálló.

3. ábra: Légbuborékképző adalékszerrel készített, olvasztósó hatásának kitett, 3%-os NaCl oldatban fagyasztott, XF2 és XF4 környezeti osztályú beton fagy- és olvasztósóállósági vizsgálatának folyamatábrája



4. ábra: Légbuborék nélküli, olvasztósó hatásának kitett, 3%-os NaCl oldatban fagyasztott, XF2(H) és XF4(H) környezeti osztályú beton fagy- és olvasztósóállósági vizsgálatának folyamatábrája

MEGJEGYZÉS:

Az MSZ 4798:2016 szabvány 5.5.5. szakaszának (6) bekezdésében *ajánlják* a peremes hámlasztásos és a felszívásos hámlasztásos fagyasztási veszteségképződés szabványos *lassulási feltételének betartását* valamennyi fagy-, illetve fagy- és olvasztósóállósági, de különösképpen az XF2 és XF4 környezeti osztályban.

Az MSZ 4798:2016 szabványban a lassulási feltételnek nincs termék minősítő szerepe, ezért *a fenti folyamatábrákban a lassulási feltételt nem szerepeltettük.*

A betonok fagy- és olvasztósóállóság-vizsgálati hámlásának *lassulási folyamatával* itt olvasható dolgozatban külön foglalkozunk.

BETONOK FAGYÁLLÓSÁG-VIZSGÁLATI, ILLETVE FAGY- ÉS OLVASZTÓSÓÁLLÓSÁG-VIZSGÁLATI HÁMLÁSÁNAK LASSULÁSI FOLYAMATA

Szerző: Dr. Kausay Tibor

1. BEVEZETÉS

A fagyhatás okozta felületi betonhámlás fogalmára a figyelmet mintegy másfél évtizeddel ezelőtt a CEN/TS 12390-9:2006 európai műszaki specifikáció – amely a mai MSZ CEN/TS 12390-9:2018 műszaki specifikáció eredeti forrása – irányította, amelyben a peremes hámlasztásos és a felszívásos hámlasztásos fagy-, illetve fagy- és olvasztósóállóság-vizsgálati módszert szabályozták.

Ezt követően egyre több betontermék-szabványban kezdték a beton fagy-, illetve fagy- és olvasztósóállóságát, a fagyhatásnak kitett betontermék megfelelőségét vagy meg nem felelőségét a bevezetett hámlasztásos fagy-, illetve fagy- és olvasztósóállóság vizsgálatok eredménye alapján megítélni. E betontermék-szabványok némelyikében – mint például az MSZ EN 13877-2:2013 és az SN EN 206-1/NE:2013 szabványban – a megfelelőség követelményeként nem csak a beton hámlasztásos fagyasztási fajlagos tömegveszteségének bizonyos megengedett mértékét írták elő, hanem a fagy-, illetve fagy- és olvasztósóállóság-vizsgálati eredmények értékeléséhez ún. fagyasztási lassulási feltételt is fogalmaztak.

Az MSZ 4798:2016 szabvány 5.5.5. szakaszának (6) bekezdése szerint valamennyi fagy-, illetve fagy- és olvasztósóállósági, de különösképpen az XF2 és XF4 környezeti osztályban *ajánlatos* a fagyasztási lassulási feltétel betartása is.

Bevezetésképpen kíséreljük meg a hámlasztásos fagyasztási lassulás fogalmának a meghatározását felépíteni:

- a vizsgálati próbatest felületéről a fagyasztás hatására lemállott anyag (esetünkben szilárd beton) tömegét nevezzük tömegveszteségnek, amelynek a mértékegysége kg;
- a tömegveszteség 1,0 m^2 felületre vetített értékét nevezzük fajlagos tömegveszteségnek, amelynek a mértékegysége: kg/m^2;
- az egymást követő fagyasztási-olvasztási ciklusok (röviden fagyasztási ciklusok vagy ciklusok) azon csoportját, amelynek hatására lemállott összes anyag fajlagos tömegét a hámlási folyamat jellemzéséhez számításba vesszük, tekintsük egy vizsgálati szakasznak;
- a vizsgálat legalább két vizsgálati szakaszból áll;
- a vizsgálati szakaszok terjedelme egy adott vizsgálaton belül azonos, napjainkban általában 14 ciklus, vagy annak egész számú többszöröse;
- két egymást követő vizsgálati szakasz végén meghatározott – a vizsgálat kezdete óta keletkezett – összes fajlagos tömegveszteség különbségét ($m_2 - m_1$) nevezzük fajlagos tömegveszteség-változásnak, amelynek a mértékegysége: kg/m^2;
- az időegységre eső fajlagos tömegveszteség-változást tekintsük a fajlagos tömegveszteség-változás sebességének. Ha időegységnek a vizsgálati szakasz terjedelmét képező ciklusok számát tekintjük, akkor a vizsgálati szakasz terjedelmére vetített fajlagos tömegveszteség-változást nevezzük a vizsgálati szakasz fajlagos

tömegveszteség-változási sebességének, amelynek mértékegysége: $(kg/m^2)/(a$ vizsgálati szakasz ciklusainak száma);

- ha a vizsgálati szakasz fajlagos tömegveszteség-változási sebessége az előző vizsgálati szakasz fajlagos tömegveszteség-változási sebességéhez képest csökken, akkor a fagyasztási hámlás folyamata lassul, ha növekszik, akkor a fagyasztási hámlás folyamata gyorsul;
- a szabványoknak a vizsgálat végén mért összes átlagos hámlási tömegveszteség megengedett mértékére vonatkozó előírását elsődleges vagy fő-követelménynek, a lassulási feltételt pedig másodlagos vagy mellék-követelménynek, illetve ajánlásnak tekintjük;
- a fő-követelménynek megfelelő fagy-, illetve fagy- és olvasztósóálló betonok fagyasztási hámlási folyamata feltétlenül lassul, ha a vizsgálat félidejében (az előírt összes ciklusszám felénél) mért összes átlagos tömegveszteség a fő-követelmény szerinti érték felénél több.

Eszerint a hámlasztásos fagyasztási lassulás fogalma alatt a fagyállóság-vizsgálati szakasz csökkenő fajlagos tömegveszteség-változási sebességét értjük, amelynek csak a fő-követelmény szerint fagy-, illetve fagy- és olvasztósóálló betonok esetén van másodlagos – előírt, minősítő vagy például, mint az MSZ 4798:2016 szabvány esetén, ajánlott – szerepe.

Dolgozatunk tehát nem terjed ki a vizsgálat végeredményét tekintve nem fagyálló, illetve nem fagy- és olvasztósóálló betonok hámlasztásos fagyasztási folyamatának tárgyalására, és nem foglalkozunk olyan esetekkel sem, amelyekben a vizsgálat fagyasztási szakaszainak száma kettőnél több.

2. A SZABVÁNYOS HÁMLASZTÁSOS FAGY-, ILLETVE FAGY- ÉS OLVASZTÓSÓÁLLÓSÁG-VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEINEK ÉRTÉKELÉSE LASSULÁSI FELTÉTEL MELLETT

Ismereteink szerint a betonok fagyállósági osztályba sorolásához a fagyállóság vizsgálat alatt lehámló anyag (hámlási veszteség) tömegének ciklusszám-tartományonkénti csökkenését először a betonburkolatok MSZ EN 13877-2:2005 európai szabványában követelték meg, és ugyanaz a szöveg olvasható a szabvány ma érvényes változatában (MSZ EN 13877-2:2013) is: a szabvány 5. táblázata szerint a beton akkor sorolható a legszigorúbb, az FT2 fagyállósági osztályba, ha – függetlenül a mért és a megengedett fagyasztási tömegveszteség viszonyától (arányától, hányadosától) – az 56. ciklushoz tartozó összes mért átlagos tömegveszteség ($m_{56} < 1{,}0\ kg/m^2$) és a 28. ciklushoz tartozó összes mért átlagos tömegveszteség ($m_{28} < 0{,}5\ kg/m^2$) hányadosa nem nagyobb, mint 2,0, azaz $m_{56}/m_{28} \leq 2{,}0$; továbbá az 56. ciklus után mért egyedi tömegveszteségek egyike sem nagyobb, mint 1,5 kg/m^2. Az MSZ EN 13877-2:2013 szabványban a mért tömegveszteség (tömegcsökkenés) elvárt arányának értéke ($m_{56}/m_{28} \leq 2{,}0$) nem ajánlás, hanem követelmény.

A hámlasztásos fagyasztási lassulási feltétel szempontjából figyelemre méltó az EN 206-1:2000 európai betonszabvány svájci nemzeti alkalmazási dokumentuma (SN EN 206-1/NE:2013) is, amelyben előírják, hogy az XF4 környezeti osztályú fagy- és olvasztósóálló betonok hámlasztásos fagyasztási tömegveszteségének átlaga 200 g/m^2-nél, illetve felső küszöbértéke 250 g/m^2-nél nem lehet nagyobb. XF4 környezeti osztályú fagy- és olvasztósóálló betonnak tekintik azokat a betonokat is, amelyek hámlasztásos fagyasztási tömegveszteségének átlaga legfeljebb 600 g/m^2, illetve felső küszöbértéke legfeljebb 800 g/m^2, ha a 28. ciklus után mért tömegveszteség (Δm_{28}) nem éri el a 6. ciklus után mért (Δm_6) és a 14. ciklus után mért (Δm_{14}) tömegveszteség összegét ($\Delta m_{28} \leq (\Delta m_6 + \Delta m_{14})$, vagyis,

ha a 28. ciklushoz tartozó összes mért tömegveszteség (m_{28}) nem nagyobb, mint a 14. ciklushoz tartozó összes mért tömegveszteség (m_{14}) kétszerese: $m_{28} \leq 2 \times m_{14}$.

Az európai és svájci lassulási feltétel mintájára hazánkban az MSZ 4798:2016 szabvány – amely az EN 206:2013 európai szabvány magyar nemzeti alkalmazási dokumentuma – 5.5.5. szakaszának (6) bekezdésében valamennyi XF környezeti osztályra vonatkozóan fogalmazták meg a hámlasztásos fagyasztási lassulási feltételt, amelynek figyelembevétele a peremes hámlasztásos és a kapilláris felszívásos hámlasztásos fagy-, illetve fagy- és olvasztósóállóság vizsgálat esetén *ajánlott*: ha az előírt N ciklusszámhoz tartozó összes mért (tapasztalati) fagyasztási veszteség (m_N) eléri az előírt N ciklusszámhoz tartozó megengedett M_N fagyasztási veszteség felét vagy annál nagyobb ($m_N \geq M_N/2$), akkor az előírt N ciklusszámhoz tartozó összes mért fagyasztási veszteség (m_N) legyen kisebb, mint az előírt N ciklusszám felének megfelelő ciklusszámhoz (N/2) tartozó összes mért fagyasztási veszteség ($m_{N/2}$) kétszerese ($m_N \leq y_N = 2 \times m_{N/2}$), ahogy az *1. ábrán* látszik. E két feltétel – azt is figyelembe véve, hogy $m_{N/2} \leq m_N \leq M_N$ – egy egyenlőtlenséggel is kifejezhető:

$$\frac{m_{N/2}}{2} \leq \frac{m_N}{2} \leq \frac{M_N}{2} \leq m_N \leq 2 \times m_{N/2}$$

Más szóval: Az MSZ 4798:2016 szabvány szerint lassul a fagyasztási hámlás folyamata – értve alatta azon hámlasztásos fagy-, illetve fagy- és olvasztósóállóság vizsgálatokat, amelyek esetén az előírt N ciklusszámhoz tartozó összes mért (tapasztalati) fagyasztási veszteség (m_N) nem kisebb, mint az előírt N ciklusszámhoz tartozó megengedett M_N fagyasztási veszteség fele ($m_N \geq M_N/2$) –, ha az előírt N ciklusszámhoz tartozó összes mért (tapasztalati) fagyasztási veszteség (m_N) az $x = n$ (fagyasztási-olvasztási ciklusok száma) és $y = m$ (fagyasztási tömegveszteség g/m^2 mértékegységben) koordináta-rendszerben ábrázolt

$$m = a \times n = \frac{m_{N/2}}{N/2} \times n$$

egyenesnek az $x = n = N/2$ helyen felvett $m = Y_{N/2} = Y_{MIN} = m_{N/2}$ értéke és az $x = n = N$ helyen felvett, a szabványok szerinti $m = Y_N = Y_{MAX} = 2 \times m_{N/2}$ értéke közé esik (*1. ábra*):

$$M_N/4 \leq m_N/2 \leq \boxed{m_{N/2}} \leq m_N \leq \boxed{2 \times m_{N/2}},$$

azaz $Y_{MIN} \leq m_N \leq Y_{MAX}$,

ahol a koordináta-rendszer kezdőpontján átmenő $m = a \times n$ egyenesnek

- az $n = N/2$ helyen felvett ordináta-értéke: Y_{MIN}, és
- az $n = N$ helyen felvett ordináta-értéke: Y_{MAX}.

Az $m = a \times n$ egyenes Y_{MIN} és Y_{MAX} közötti szakaszát *határvonalnak* nevezzük. A hámlás folyamata akkor lassul, ha a *hámlási görbe* $n = N/2$ és $n = N$ abszcissza-értékek közötti szakasza nem meredekebb, mint a határvonal, amelynek elnevezése e korlátozó szerep folyománya (*1. ábra*).

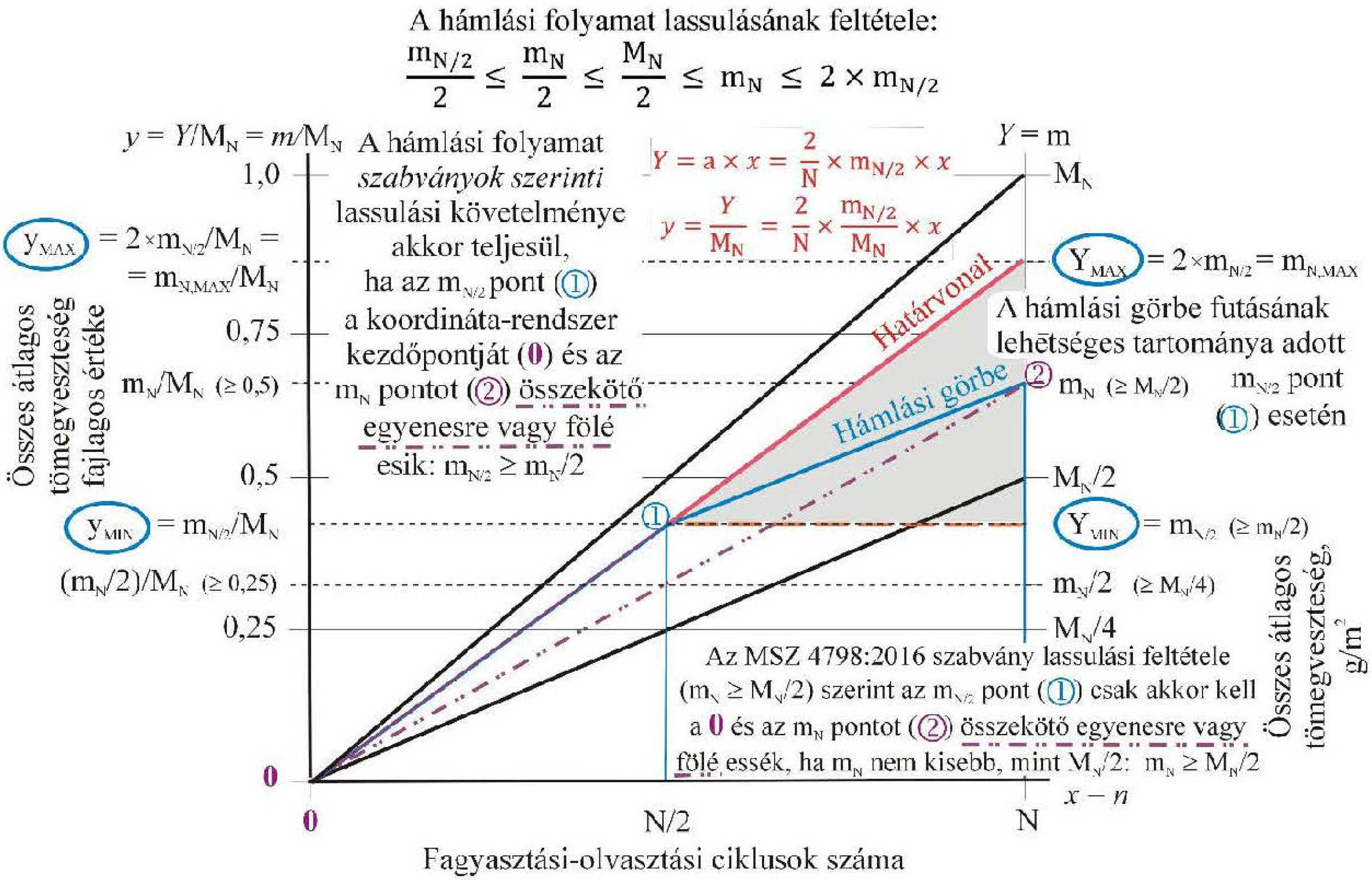
A lassulási feltétel teljesülésének megítéléséhez ismerni kell mind az előírt N ciklusszám feléhez tartozó ciklusszám (N/2) után mért összes fagyasztási veszteség ($m_{N/2}$, jele az *1. ábrán*: ①), mind az előírt N ciklusszámhoz tartozó összes mért fagyasztási veszteség (m_N, jele az *1. ábrán*: ②) értékét, amelyekhez a lassulási feltétel szemléltető ábrája is rögzíthető.

Így például az *1. ábra* esetén az ① ($m_{N/2}$) pont (x, y) koordinátái: (N/2, 0,427×M_N) és a ② (m_N) pont (x, y) koordinátái: (N, 0,659×M_N). Az *1. ábrához* tartozó $m_{N/2}$ és m_N összes átlagos tömegveszteség hányadosa: $m_{N/2}/m_N$ = 0,648 és különbsége: (m_N – $m_{N/2}$) = 0,232×M_N. Az *1. ábrabeli* példa esetén az MSZ 4798:2016 szabvány szerinti lassulási feltétel:

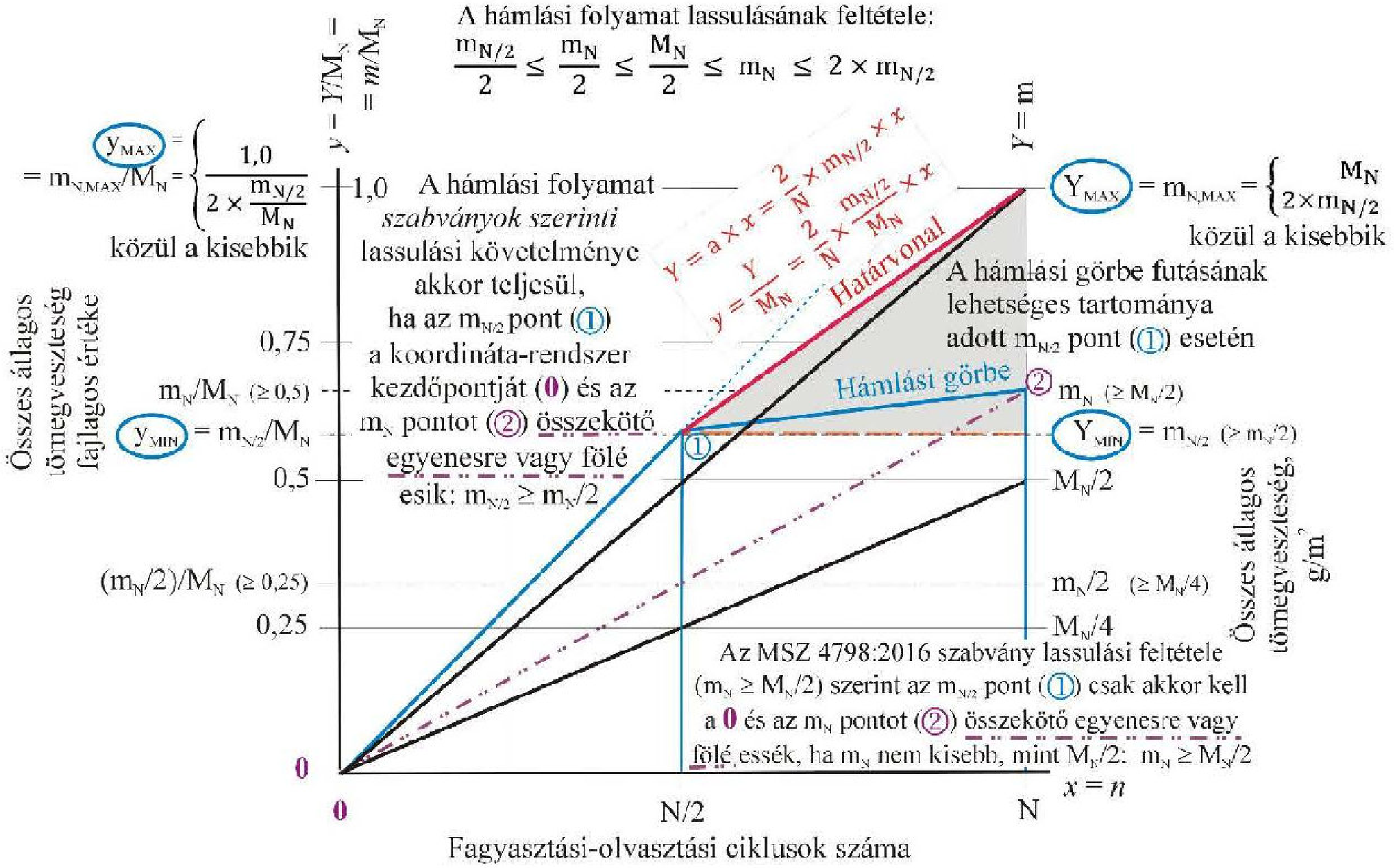
- egyrészt értelmezhető, hiszen: 0,659×M_N = $m_N \geq M_N/2$ = 0,500×M_N),
- másrészt teljesül, hiszen: 0,659×M_N = $m_N \leq 2 \times m_{N/2}$ = 2×0,427×M_N = 0,854×M_N.

Az *1. ábrán azt* is megfigyelhetjük, hogy az ① ($m_{N/2}$) pontot a koordináta-rendszer kezdőpontját (0) az M_N ponttal összekötő egyenes alatt vettük fel, tehát az *1. ábrabeli* példában: $m_{N/2} < M_N/2$, azaz $y_{MIN} = m_{N/2}/M_N = 0,427 < 0,5$.

A *2. ábra* olyan esetet szemléltet, amelyben $m_{N/2} > M_N/2$, miáltal az ① ($m_{N/2}$) pont a koordináta-rendszer kezdőpontját (0) az M_N ponttal összekötő egyenes felett helyezkedik el.



1. ábra: Példa az MSZ 4798:2016 szabvány szerinti hámlasztásos fagyasztás lassulási feltételének szemléltetésére, amelyben a hámlási görbe ordinátája az N/2 ciklusszámnál (① pont a szakaszhatáron): $y_{MIN} = m_{N/2}/M_N = 0,427 < 0,5$



2. ábra: Példa az MSZ 4798:2016 szabvány szerinti hámlasztásos fagyasztás lassulási feltételének szemléltetésére, amelyben a hámlási görbe ordinátája az N/2 ciklusszámnál (① pont a szakaszhatáron): $y_{MIN} = m_{N/2}/M_N = 0,585 > 0,5$

A *2. ábrán* a felvett ① ($m_{N/2}$) pont koordinátái: (N/2, 0,585×M_N), az *1. ábrabelivel* változatlan értékű ② (m_N) pont koordinátái: (N, 0,659×M_N), és a hámlási görbe ordinátája az N/2 ciklusszámnál (szakaszhatáron): $y_{MIN} = m_{N/2}/M_N = 0,585 > 0,5$. A *2. ábrához* tartozó $m_{N/2}$ és m_N összes átlagos tömegveszteség hányadosa: $m_{N/2}/m_N = 0,888$ és különbsége: $(m_N - m_{N/2}) = 0,074 \times M_N$.

A *2. ábrán* megfigyelhetjük, hogy ha az ① ($m_{N/2}$) pont a koordináta-rendszer kezdőpontját (0) az M_N ponttal összekötő egyenesen vagy afelett fekszik, azaz $m_{N/2}/M_N \geq 0,5$ akkor a ② (m_N) pont minden lehetséges helyzetében lassuló folyamatot fejez ki, hiszen: $m_{N/2} \geq m_N - m_{N/2}$, azaz $m_{N/2}/m_N \geq 0,5$.

Ez azt jelenti, hogy ha a vizsgálat félidejében (N/2 ciklusszámnál) mért összes átlagos tömegveszteség $m_{N/2}/M_N \geq 0,5$ és a próbatest a vizsgálat végeredményét tekintve (N ciklusszámnál) a fő-követelmény szerint fagy-, illetve fagy- és olvasztósóálló ($m_N//M_N \leq 1,0$), akkor a hámlási folyamat csak lassuló lehet, tehát jellege a gyorsulás szempontjából figyelmet nem érdemel. Az ilyen hámlási folyamat kielégíti az *1. táblázat* szerinti ❶ jelű lassulási feltételt, mint mellék-követelményt, illetve ajánlást.

A lassulási feltétel N ciklusszám melletti teljesülése egyébként nem biztosíték arra, hogy a hámlás folyamata az N értékét meghaladó, a vizsgálat során nem alkalmazott ciklusszám mellett is lassulna; a hámlás N ciklusszám melletti gyorsulása pedig nem zárja ki, hogy ha a vizsgálatot az N értéknél nagyobb ciklusszámmal is elvégeznénk, akkor a folyamat ne lassulhatna. E bizonytalanságok miatt a lassulási feltétel betartása az MSZ 4798:2016 szabvány szerint *nem követelmény*, de teljesülésének jellegéből a beton fagy-, illetve fagy- és olvasztósóállóságára hasznos következtetések vonhatók le, akárcsak a próbatestek fagyállóság vizsgálat utáni állapotát bemutató fényképekből is, amelyek készítésére a magyar betonszabvány 5.5.5. szakaszának (7) bekezdésében ösztönöznek.

1. táblázat: Az európai, svájci és magyar szabványos hámlasztásos fagyasztási lassulási feltételek összevetése

Lassulási feltétellel foglalkozó szabvány		MSZ EN 13877-2:2013	SN EN 206-1/NE:2013	MSZ 4798:2016 és MSZ 4798:2016/2M:2018
Fagyállósági osztály, amelyben a lassulási feltételnek szerepe van		FT2 osztály, amelyben a hámlási tömegveszteség mért átlagértéke 28 ciklus után: $m_{28} < 500$ g/m^2 és 56 ciklus után: $m_{56} < 1000$ g/m^2 kell legyen.	Igen fagy- és olvasztósóálló (lényegében XF4(CH) környezeti osztályú) beton, amely esetén a hámlási tömegveszteség mért átlagértéke 28 ciklus után: $m_{28} \leq 600$ g/m^2, és $m_{28} - m_{14} \leq m_{14}$, azaz 14 ciklus után: $m_{14} \geq 300$ g/m^2 kell legyen.	XF1, XF3, XF3(H), különösképpen: XF2, XF2(H), XF4, XF4(H) környezeti osztály
A lassulási feltétel alkalmazásának jellege		Előírás	Előírás az $m_{28} \leq 200$ g/m^2 követelmény alternatívájaként, ha $m_{28} \leq 600$ g/m^2	Ajánlás
Lassulási feltétel	❶	$1{,}0 \leq m_{56}/m_{28} \leq 2{,}0$, azaz $1{,}0 \geq m_{N/2}/m_N \geq 0{,}5$	$1{,}0 \leq m_{28}/m_{14} \leq 2{,}0$, azaz $1{,}0 \geq m_{N/2}/m_N \geq 0{,}5$	$1{,}0 \geq m_{N/2}/m_N \geq 0{,}5$
	❷	–	–	$1{,}0 \geq m_N/M_N \geq 0{,}5$
A lassulási feltétel a vizsgálat végén mért (m_N) és megengedett (M_N) fagyasztási tömegveszteség viszonyától…		független		a következőképpen függ: $M_N \geq m_N \geq M_N/2$ (Ha $0 < m_N < M_N/2$, akkor a folyamat korlátlanul gyorsulhat.)
		Lásd e táblázat fenti, a lassulási feltétel ❷ sorát.		
Folyamat gyorsulása: $m_{N/2}/m_N < 0{,}5$		Nem megengedett	Nem megengedett	Nem megengedett, kivéve, ha $0 < m_N/M_N < 0{,}5$

Az európai MSZ EN 13877-2:2013, a svájci SN EN 206-1/NE:2013 és a magyar MSZ 4798:2016 szabvány hámlasztásos fagyasztási lassulási feltételeinek jellemzőit az *1. táblázatban* összevetve megállapíthatjuk, hogy e szabványok lassulási feltételei bár hasonlóak, nem mindenben megegyezőek.

Talán a legszembetűnőbb eltérés, hogy

- amíg a magyar szabvány szerint a lassulási feltétel csak akkor érvényes, ha a vizsgálat végéhez tartozó összes mért fagyasztási tömegveszteség (m_N) nem kisebb, mint a vizsgálat végéhez tartozó összes megengedett fagyasztási tömegveszteség (M_N) fele: $m_N \geq M_N/2$, azaz $m_N/M_N \geq 0{,}5$,
- addig az európai és a svájci szabvány szerint a lassulási feltétel független a vizsgálat végéhez tartozó összes mért (m_N) és megengedett (M_N) fagyasztási tömegveszteség viszonyától, és csak a vizsgálatnak a félidejéhez (N/2) tartozó összes mért fagyasztási tömegveszteség ($m_{N/2}$) és a végéhez (N) tartozó összes mért fagyasztási tömegveszteség (m_N) hányadosától függ: $m_{N/2}/m_N \geq 0{,}5$.

Az *1. táblázat* alapján az *1. ábra* segítségével könnyen belátható, hogy ha az $x = n = N$ függőlegesében fekvő, valamely tetszőlegesen felvett m_N pontot (jele az *1. ábrán*: ②) összekötjük a koordináta-rendszer kezdőpontjával (az *1. ábrán*: 0), akkor valamennyi szabvány szerint a lassulási feltétel teljesüléséhez az $x = n = N/2$ függőlegesében fekvő $m_{N/2}$ pontnak (jele az *1. ábrán*: ①) az $m_N/2$ és az m_N pont közé kell esnie: $m_N/2 \leq m_{N/2} \leq m_N$. Ennek az egyenlőtlenségnek minden tagját m_N értékkel elosztva azt kapjuk, hogy $(m_N/2)/m_N \leq \leq m_{N/2}/m_N \leq m_N/m_N$, illetve, hogy $0{,}5 \leq m_{N/2}/m_N \leq 1{,}0$, amely utóbbi nem más, mint a szabványok szerinti lassulási feltétel ($m_{N/2}/m_N \geq 0{,}5$), lásd az *1. táblázatban* a lassulási feltétel ❶ sorát; hozzátéve, hogy e feltétel kielégítése az MSZ 4798:2016 szabvány szerint a lassulási teljesüléséhez ugyan szintén szükséges, de nem elégséges, lásd az *1. táblázatban* a lassulási feltétel ❷ sorát.

Fagy-, illetve fagy- és olvasztósóálló beton esetén az *1. ábrán* tetszőlegesen felvett m_N pont (②) az $x = n = N$ függőlegesében elvileg az $Y = m = 0{,}0$ és az $Y = m = M_N$ pont között bárhol fekhet, tehát – egyéb előírás híján – az európai és a svájci szabvány szerint a lassulási feltétel független a vizsgálat végéhez tartozó összes megengedett (M_N) fagyasztási tömegveszteség értékétől, illetve a vizsgálat végéhez tartozó összes mért (m_N) és megengedett (M_N) fagyasztási tömegveszteség viszonyától (m_N/M_N), lásd az *1. táblázatban* a lassulási feltétel ❷ sorát.

Ennek értelmében az N/2 és N ciklusszámok között a fagyasztási hámlás folyamatának az európai és a svájci szabvány – e tekintetben szigorúbb előírása – szerint minden esetben lassulnia kell, a magyar szabvány – e tekintetben megengedőbb ajánlása – szerint pedig csak akkor, ha $m_N \geq M_N/2$, azaz ellenkező esetben ($m_N < M_N/2$) a folyamat akár gyorsulhat is.

Elképzelésünk szerint a hámlasztásos fagyasztási lassulási feltétel – kiindulva az MSZ 4798:2016 és MSZ 4798:2016/2M:2018 szabvány szerinti feltételből – a szabványokon túlmenően továbbfejleszthető.

3. A SZABVÁNYOS HÁMLASZTÁSOS FAGYASZTÁSI LASSULÁSI FELTÉTEL TOVÁBBFEJLESZTÉSE

A szabványos hámlasztásos fagyasztási lassulási feltételt a határvonal függvényének átalakításával (transzformálásával) számtalan módon továbbfejleszthetjük, és ehhez az átalakítás célja megszabta feltételeket is rendelhetünk.

A szabványos lassulási feltétel átalakításának célja elképzelésünk szerint például legyen az, hogy

- a fagyasztási hámlásnak a közepesnél jobban ($0{,}0 < m_N/M_N < 0{,}5$) ellenálló fagy-, illetve fagy- és olvasztósóállóság betonok szabványos fagyasztási lassulási követelményét, illetve ajánlását ellenállóképességük arányában mérsékeljük. E célkitűzés csak azokra a betonokra nézve értelmes, amelyek vizsgálati félidejében

(az előírt összes ciklusszám felénél) mért összes átlagos tömegveszteség a főkövetelmény szerinti érték felénél kisebb ($2\times m_{N/2}/M_N < 1{,}0$);

- a szabványos lassulási feltételt ($1{,}0 \geq m_{N/2}/m_N \geq 0{,}5$) – lásd az *1. táblázatbeli* lassulási feltétel ❶ sorát – olyan lassulási feltétel váltsa fel, amelynek értelmében a közepesnél jobb ellenállóképességű betonok vizsgálati hámlási folyamata mérsékelten gyorsulhat, és a mérsékelt gyorsulás a betonok fagy-, illetve fagy- és olvasztósóállósági hámlási ellenállása javulásának – az $m_{N/2}/m_N$ hányados csökkenésének – arányában korlátozott mértékben növekedhet.

E cél elérése érdekében a transzformálás feltételei legyenek a következők:

- a koordináta-rendszer kezdőpontját és az $x = n = N/2$ abszcissza érték függőlegesében lévő $y = m_{N/2}/M_N = 0{,}5$ ordináta pontot összekötő egyenes (egyenlete: $y = x/N$) koordináta-rendszerbeli helye maradjon változatlan. Az $y = x/N$ egyenes az $x = n = N$ abszcissza érték függőlegesét az $y = m_N/M_N = 1{,}0$ ordináta pontban metszi (*1. ábra*);
- valamennyi, a koordináta-rendszer kezdőpontján és az $x = n = N/2$ abszcissza érték függőlegesében lévő valamely $0{,}0 < m_{N/2}/M_N < 0{,}5$ ordináta ponton átmenő egyenes (egyenlete: $y = (2/N)\times(m_{N/2}/M_N)\times x$) a transzformáció után is az $m_{N/2}/M_N$ értéket vegye fel az $x = n = N/2$ abszcissza érték függőlegesében;
- az eredetileg koordináta-rendszer kezdőpontjában találkozó határvonal egyenesek a transzformáció után is egy pontban metsszék egymást, és ez a pont az $y = x/N$ egyenesen feküdjék, x és y koordinátái pedig $x = -N/2$ és $y = -0{,}5$ legyenek.

A feladat tehát az ($x_1 = -N/2$; $y_1 = -0{,}5$) és ($x_2 = N/2$; $y_2 = m_{N/2}/M_N$) pontokon átmenő egyenesek egyenletének felírása. Két ponton átmenő egyenes esetén a következő összefüggésnek kell teljesülnie:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

Ellenőrzésképpen írjuk fel a két ponton átmenő egyenes összefüggését az *x'-y'* segéd koordináta-rendszerben is, amely esetén a transzformáció folytán $x' = x + N/2$ és $y' = y + 0{,}5$, és amelyben a szóban forgó két pont: ($x'_1 = 0$; $y'_1 = 0$) és ($x'_2 = N$; $y'_2 = (m_{N/2}/M_N) + 0{,}5$):

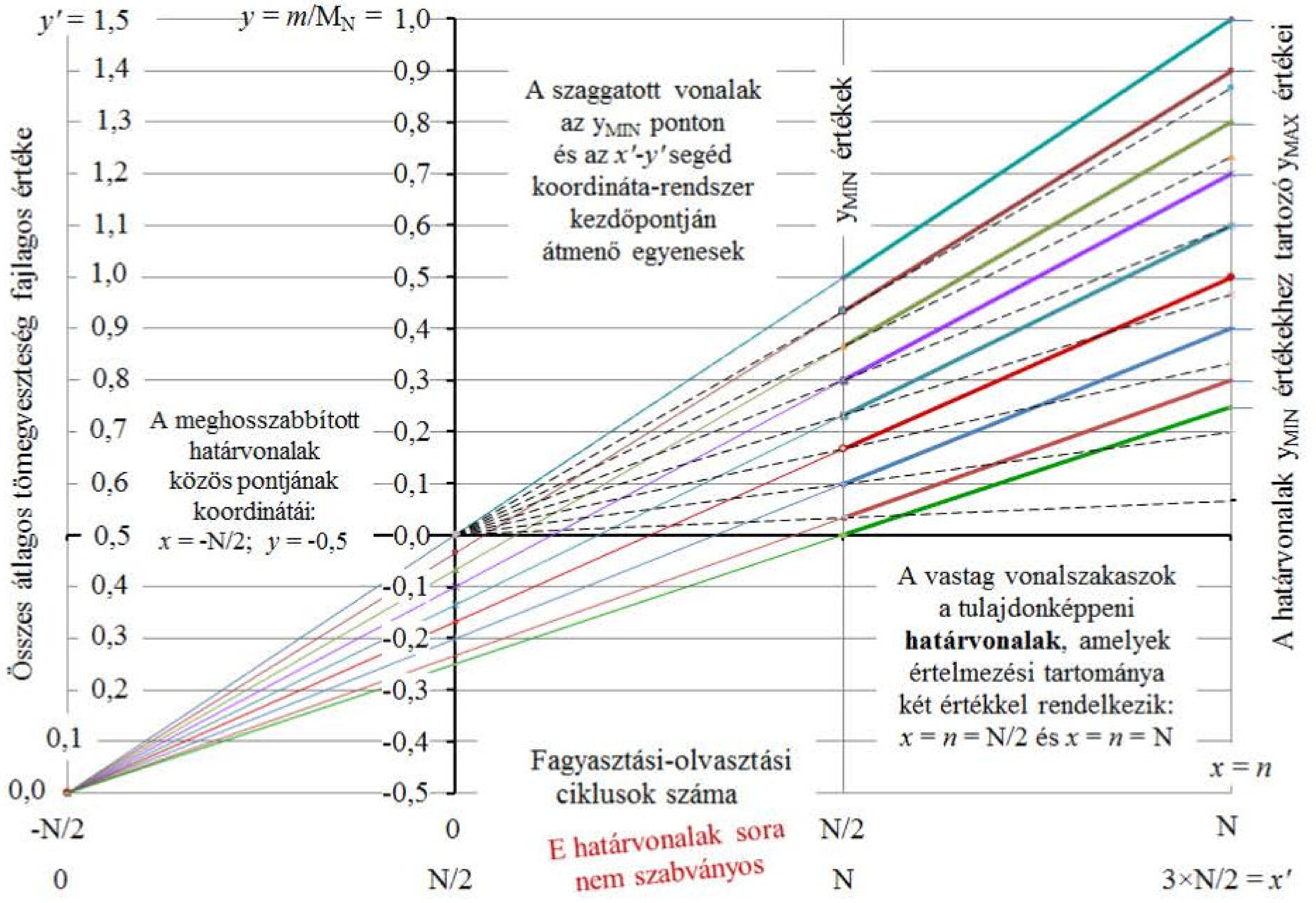
$$\frac{y' - y'_1}{y'_2 - y'_1} = \frac{x' - x'_1}{x'_2 - x'_1}$$

A megfelelő értékek behelyettesítése és az összefüggések rendezése után mind az *x-y* koordináta-rendszerben, mind az *x'-y'* segéd koordináta-rendszerben felírt összefüggés azonosan adja a transzformált határvonalak egyenesei függvénysorának egyenletét:

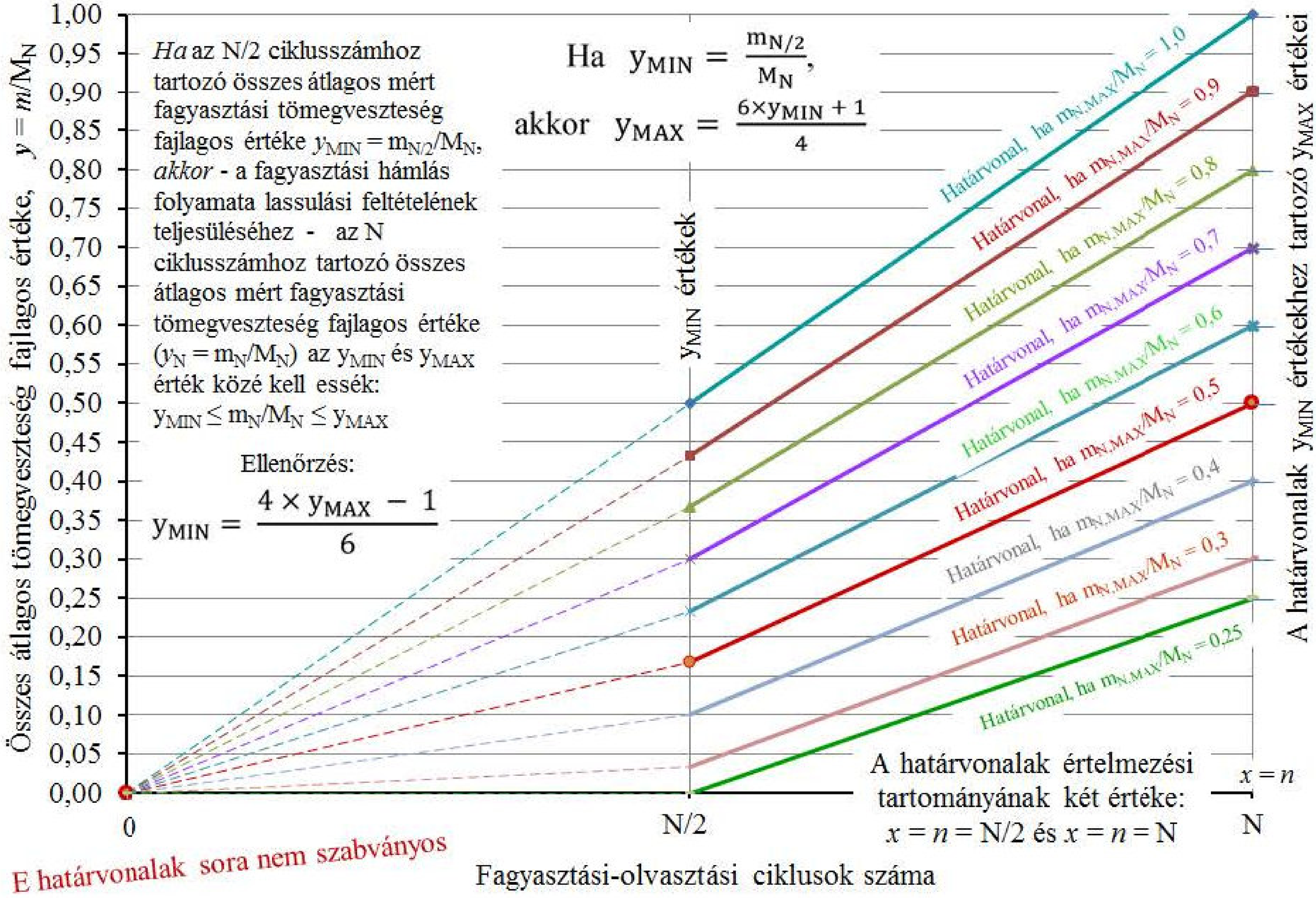
$$y = \frac{1}{N}\times\left(\frac{m_{N/2}}{M_N} + \frac{1}{2}\right)\times x + \frac{1}{2}\times\left(\frac{m_{N/2}}{M_N}\right) - \frac{1}{4}$$

Ezzel az egyenlettel meghatározott transzformált függvénysor egyeneseit az *x'–y'* segéd koordináta-rendszer alkalmazásával a *3. ábrán* szerkesztettük meg, és a szerkesztés eredményeképpen a fagyasztás hámlási folyamatának továbbfejlesztett lassulási határvonalait a *4. ábrán* rajzoltuk meg.

A transzformált függvénysor értékkészletét a *2. táblázatban* tüntettük fel. A fagyasztás hámlási folyamatának továbbfejlesztett lassulási határvonalaira a *2. táblázat* $m_{N/2}/M_N$, m_N/M_N és $m_{N/2}/m_N$ oszlopai vonatkoznak, a *2. táblázat y'* és *y* oszlopa pedig az *x'-y'* segéd koordináta-rendszer, illetve az *x-y* koordináta-rendszer ordinátájának adatait tartalmazza.



3. ábra: A fagyasztás hámlási folyamata továbbfejlesztett lassulási határvonalainak szerkesztése segéd koordináta-rendszer (*x'–y'*) alkalmazásával



4. ábra: A fagyasztás hámlási folyamatának továbbfejlesztett lassulási határvonalai

2. táblázat: A transzformált függvénysor értékkészlete

$x = n = -N/2$ $x' = 0$	$y = m/M_N$ értéke, ha			$m_{N,MAX}/M_N - m_{N/2}/M_N$	$m_{N/2}/m_{N,MAX}$
	$x = n = 0$ $x' = N/2$	$x = n = N/2$ $x' = N$	$x = n = N$ $x' = 3 \times N/2$		
Segéd koordináta-rendszer ordináta-tengelye	Ordináta-tengely	$m_{N/2}/M_N$	$m_{N,MAX}/M_N$		
y'	y	y_{MIN}	y_{MAX}	$y_{MAX} - y_{MIN}$	y_{MIN}/y_{MAX}
-0,500	0,000	0,500	1,000	0,500	0,500
-0,500	-0,008	0,483	0,975	0,492	0,496
-0,500	-0,013	0,475	0,963	0,488	0,494
-0,500	-0,017	0,467	0,950	0,483	0,491
-0,500	-0,025	0,450	0,925	0,475	0,486
-0,500	-0,033	0,433	0,900	0,467	0,481
-0,500*	-0,037*	0,427*	0,891*	0,464*	0,480*
-0,500	-0,038	0,425	0,888	0,463	0,479
-0,500	-0,042	0,417	0,875	0,458	0,476
-0,500	-0,050	0,400	0,850	0,450	0,471
-0,500	-0,058	0,383	0,825	0,442	0,465
-0,500	-0,063	0,375	0,813	0,438	0,462
-0,500	-0,067	0,367	0,800	0,433	0,458
-0,500	-0,075	0,350	0,775	0,425	0,452
-0,500	-0,083	0,333	0,750	0,417	0,444
-0,500	-0,088	0,325	0,738	0,413	0,441
-0,500	-0,092	0,317	0,725	0,408	0,437
-0,500	-0,100	0,300	0,700	0,400	0,429
-0,500	-0,108	0,283	0,675	0,392	0,420
-0,500	-0,113	0,275	0,663	0,388	0,415
-0,500	-0,117	0,267	0,650	0,383	0,410
-0,500	-0,125	0,250	0,625	0,375	0,400

A *2. táblázat* folytatódik

A *2. táblázat* folytatása

$x = n = -N/2$ $x' = 0$	$y = m/M_N$ értéke, ha			$m_{N,MAX}/M_N - m_{N/2}/M_N$	$m_{N/2}/m_{N,MAX}$
	$x = n = 0$ $x' = N/2$	$x = n = N/2$ $x' = N$	$x = n = N$ $x' = 3\times N/2$		
Segéd koordináta-rendszer ordináta-tengelye	Ordináta-tengely	$m_{N/2}/M_N$	$m_{N,MAX}/M_N$		
y'	y	y_{MIN}	y_{MAX}	$y_{MAX} - y_{MIN}$	y_{MIN}/y_{MAX}
-0,500	-0,133	0,233	0,600	0,367	0,389
-0,500	-0,138	0,225	0,588	0,363	0,383
-0,500	-0,142	0,217	0,575	0,358	0,377
-0,500	-0,150	0,200	0,550	0,350	0,364
-0,500	-0,158	0,183	0,525	0,342	0,349
-0,500	-0,163	0,175	0,513	0,338	0,341
-0,500	-0,167	0,167	0,500	0,333	0,333
-0,500	-0,175	0,150	0,475	0,325	0,316
-0,500	-0,183	0,133	0,450	0,317	0,296
-0,500	-0,188	0,125	0,438	0,313	0,286
-0,500	-0,192	0,117	0,425	0,308	0,275
-0,500	-0,200	0,100	0,400	0,300	0,250
-0,500	-0,208	0,083	0,375	0,292	0,222
-0,500	-0,213	0,075	0,363	0,288	0,207
-0,500	-0,217	0,067	0,350	0,283	0,190
-0,500	-0,225	0,050	0,325	0,275	0,154
-0,500	-0,233	0,033	0,300	0,267	0,111
-0,500	-0,238	0,025	0,288	0,263	0,087
-0,500	-0,242	0,017	0,275	0,258	0,061
-0,500	-0,250	0,000	0,250	0,250	0,000

A *2. táblázat* első oszlopának adatai azt mutatják, hogy célkitűzésünknek megfelelően:

- a továbbfejlesztett határvonalak meghosszabbított egyenesei az $x = -N/2$ és $y = -0,5$ koordinátájú pontban metszik egymást;
- és a továbbfejlesztett határvonalaknak az y_{MAX} és y_{MIN} értékek viszonyával leírható meredeksége az $y_{MAX} - y_{MIN}$ különbségek, illetve az y_{MIN}/y_{MAX} hányadosok csökkenésével egymáshoz képest csökken, amely a hámlási folyamat korlátozott mértékű gyorsulása ezzel járó növekedésének elfogadását fejezi ki. Megjegyzendő, hogy az $y_{MAX} - y_{MIN}$ különbségek, illetve az y_{MIN}/y_{MAX} hányadosok csökkenése az $y_{MIN} = m_{N/2}/M_N$ hányados 0,5 értékről való csökkenésének folyománya.

Térjünk röviden vissza az *1. ábrabeli* példához, amelyben az $y_{MIN} = 0{,}427$ értékű ① ($m_{N/2}/M_N$) pontból kiindulva az MSZ 4798:2016 szabvány lassulási feltétele szerint szerkesztett határvonal végpontjának ($2 \times m_{N/2}/M_N$) értéke $y_{MAX} = 0{,}854$. Ennek értelmében a vizsgálat félidejében (N/2 ciklusszámnál) mért $m_{N/2}/M_N = 0{,}427$ összes átlagos fajlagos tömegveszteség esetén a hámlási folyamat akkor lassul, ha a vizsgálat végén (N ciklusszámnál) mért az összes átlagos fajlagos tömegveszteség (m_N/M_N) az $y_{MIN} = m_{N/2}/M_N = 0{,}427$ és az $y_{MAX} = m_N/M_N = 0{,}854$ érték közé esik. Az *1. ábrabeli* hámlási görbe, amelynek a vizsgálat végéhez (N ciklusszámhoz) tartozó értéke $m_N/M_N = 0{,}659$ (az *1. ábrán* a ② pont), ezt a feltételt akkor is teljesítette volna, ha az m_N érték az $y_{MAX} = 0{,}854$ értéket elérte volna. (A szabványok *1. táblázatbeli* ❶ lassulási feltétele szerinti határvonalakat a *3. ábrán* szaggatott vonallal rajzoltuk meg.)

Ugyanakkor a transzformált határvonalak fenti egyenletével számolva a *2. táblázat* *-okkal jelölt sorában azt látjuk, hogy a továbbfejlesztett lassulási feltétel szerint az *1. ábrabeli* hámlási görbe a szabványok előírását, illetve ajánlását meghaladó módon még akkor is elfogadott („lassuló hámlási folyamatúnak tekintendő”), ha a vizsgálat végén (N ciklusszámnál) mért összes átlagos fajlagos tömegveszteség értéke $y_{MAX} = m_N/M_N = 0{,}891$.

Az átalakítás eredményeként kapott lassulási feltétel jellemzőit a magyar betonszabványok (MSZ 4798:2016, és MSZ 4798:2016/2M:2018) lassulási feltételének jellemzőivel a *3. táblázatban* vetettük össze. A *3. táblázatban* látni lehet, hogy a továbbfejlesztett lassulási feltétel

- mind az $n = N$ fagyasztási ciklusszámhoz tartozó, a lassulási feltételt kielégítő legnagyobb m_N, illetve m_N/M_N érték (Y_{MAX}, illetve y_{MAX}),
- mind a lassulási feltétel fogalma,
- mind alkalmazandósága, illetve alkalmazhatósága,
- mind a folyamat gyorsulásának elfogadása,
- mind a hámlási határvonal függvényének egyenlete

tekintetében a szabványos lassulási feltételnél árnyaltabb.

3. táblázat: A magyar betonszabványok lassulási feltétele és a továbbfejlesztett lassulási feltétel összevetése

Lassulási feltétel jellemzői	MSZ 4798:2016 és MSZ 4798:2016/2M:2018	Továbbfejlesztett lassulási feltétel
Fagyállósági osztály, amelyben a lassulási feltételnek szerepe van	XF1, XF3, XF3(H), különösképpen: XF2, XF2(H), XF4, XF4(H) környezeti osztály	
A lassulási feltétel alkalmazásának jellege	ajánlás	
Az n = N fagyasztási ciklusszámhoz tartozó, a lassulási feltételt kielégítő legnagyobb m_N, illetve m_N/M_N érték (Y_{MAX}, illetve y_{MAX})	$Y_{MAX} = 2 \times m_{N/2}$ $y_{MAX} = 2 \times \frac{m_{N/2}}{M_N}$	$Y_{MAX} = \frac{6 \times m_{N/2} + 1}{4}$ $y_{MAX} = \frac{6 \times \frac{m_{N/2}}{M_N} + 1}{4}$
Lassulási feltétel	$1{,}0 \geq m_{N/2}/m_N \geq 0{,}5$ ($1{,}0 \leq m_N/m_{N/2} \leq 2{,}0$)	A lassulási feltétel az y_{MIN} ($m_{N/2}/M_N$ hányados) és a határvonal szerint hozzá tartozó y_{MAX} ($m_{N,MAX}/M_N$ hányados) függvénye.
A lassulási feltétel alkalmazandósága, illetve alkalmazhatósága az m_N/M_N hányados függvényében	A lassulási feltétel az m_N/M_N hányados függvényében csak akkor alkalmazandó, ha $M_N/2 \leq m_N \leq M_N$, azaz $0{,}5 \leq m_N/M_N \leq 1{,}0$.	A lassulási feltétel a $0{,}0 < m_N/M_N < 1{,}0$ hányados nagyságától függetlenül alkalmazható.
Folyamat gyorsulása: $m_{N/2}/m_N < 0{,}5$	Nem megengedett, kivéve, ha $0{,}0 < m_N/M_N < 0{,}5$, azaz $0{,}0 < m_N < M_N/2$, amikoris a folyamat korlátlanul gyorsulhat.	A folyamat bármely $0{,}0 < m_N/M_N < 1{,}0$ hányados esetén korlátozottan gyorsulhat az y_{MIN} és y_{MAX} értékek meghatározta határvonal szerint.
A hámlási határvonal függvényének egyenlete	$y = \frac{2}{N} \times \frac{m_{N/2}}{M_N} \times x$	$y = \frac{1}{N} \times \left(\frac{m_{N/2}}{M_N} + \frac{1}{2}\right) \times x + \frac{1}{2} \times \left(\frac{m_{N/2}}{M_N}\right) - \frac{1}{4}$
Megjegyzés: Az n = N fagyasztási ciklusszámhoz tartozó, a lassulási feltételt kielégítő legnagyobb m_N, illetve m_N/M_N érték (Y_{MAX}, illetve y_{MAX}) az n = N/2 ciklusszámnál mért átlagos hámlási veszteség mért értékének ($Y_{MIN} = m_{N/2}$), illetve mért fajlagos értékének ($y_{MIN} = m_{N/2}/M_N$) a függvénye.		

Mind a szabványokon alapuló, mind a fenti továbbfejlesztett lassulási feltételekhez tartozó, az *1. – 4. ábrán* poligonként (folytonos vonallal rajzolt hisztogramként) ábrázolt határvonalak függvényének (hisztogramjának) értelmezési tartománya igen szegényes, hiszen e függvények (hisztogramok) diszkrét (nem folytonos, hanem megszámlálható tagú) független változójának ($x = n$) csak két értelmezhető tagja van, az $x = n = N/2$ kezdő- és $x = n = N$ záróérték.

A fagyasztási hámlás folyamata lassulásának vagy gyorsulásának bizonyossága a határvonalak függvénye értelmezési tartományának bővítésével, az $x = n$ diszkrét független változó értelmezhető tagjai számának növelésével, azaz a hámlási veszteségek gyakoribb – például 7, esetleg 4 fagyasztási-olvasztási ciklusonkénti – mérésével növelhető.

4. MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK

Dolgozatunkban a fagy-, illetve fagy- és olvasztósóálló betonok MSZ EN 13877-2:2013, SN EN 206-1/NE:2013 és MSZ 4798:2016 szabványok bevezette hámlasztásos fagyasztási lassulási feltétellel, valamint a lassulási feltételnek e szabványokon túlmenő továbbfejlesztésével foglalkoztunk.

A lassulási feltétel alkalmazásának értelme, hogy általa a hámlasztásos fagyasztás-olvasztási ciklusok betonkárosító hatására nem csak a vizsgálat végeredménye, hanem a hámlási folyamatának jellege alapján is lehet következtetni.

A fagyasztási hámlás folyamatának leírásához értelmeztük a hámlasztásos fagyasztási lassulás fogalmát, bevezettük a határvonalak fogalmát, és a szabványos hámlasztásos fagyasztási lassulás feltételét e határvonal függvényének átalakításával továbbfejlesztettük.

A továbbfejlesztett lassulási feltétel alkalmazhatósága a szabványos lassulási feltétel alkalmazhatóságánál szélesebb körű, és figyelembevétele a fagy, illetve fagy- és olvasztósóállóság-vizsgálati eredmények szabványos értékelésénél árnyaltabb értékelésre ad lehetőséget, amellyel élni főképp kutatási eredmények elemzése és gyakorlati hasznosíthatóságuk tanulmányozása során érdemes.

5. HIVATKOZOTT SZAKIRODALOM

Balázs L. Gy. – Kausay T. (2008): Betonok fagy- és olvasztósóállóságának vizsgálata és követelmények – 1. Értelmezés. Vasbetonépítés, X. évfolyam, 2008. 4. szám, pp. 127-135.

Balázs L. Gy. – Kausay T. (2009): Betonok fagy- és olvasztósóállóságának vizsgálata és követelmények – 2. Vizsgálat. Vasbetonépítés, XI. évfolyam, 2009. 2. szám, pp. 55-65.

Balázs L. Gy. – Kausay T. (2019): Betontípusok, fogalmak, jelölések, újdonságok. Az MSZ 4798:2016, MSZ 4798:2016/1M:2017 és MSZ 4798:2016/2M:2018 betonszabvány néhány fejezetének értelmezése. 2. rész: Betonok szabványos jelölése, betontermék, bedolgozási konzisztencia, betontechnológiai munkamenetterv. Vasbetonépítés, XXI. évfolyam 2019. 4. szám, pp. 97-110.

6. HIVATKOZOTT SZABVÁNYOK, MŰSZAKI SPECIFIKÁCIÓ

MSZ 4798:2016 Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelőség, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon

MSZ 4798:2016/2M:2018 Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelőség, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon. Az MSZ 4798:2016 szabvány módosítása

MSZ EN 13877-2:2013 Betonburkolatok. 2. rész: Betonburkolatok rendeltetésnek megfelelő követelményei

MSZ CEN/TS 12390-9:2018 A megszilárdult beton vizsgálata. 9. rész: Fagyállóság jégolvasztósóval. Lehámlás.
(Megjegyzés: A műszaki specifikáció alcíme két szempontból is félrevezető: egyrészt azért, mert a műszaki specifikáció szerint a fagyasztóközeg jégolvasztósó nélküli ionmentes víz is lehet; másrészt azért, mert a műszaki specifikációban az ún. kockavizsgálatot is tárgyalják, amellyel nem a felületi hámlás, hanem a térfogati mállás vizsgálandó.)

CEN/TS 12390-9:2006 Testing hardened concrete. Part 9: Freeze-thaw resistance. Scaling. Visszavont európai műszaki specifikáció

EN 206-1:2000 Concrete. Part 1: Specification, performance, production and conformity

EN 206:2013 Concrete. Specification, performance, production and conformity

SN EN 206-1/NE:2013 Beton. Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Nationale Elemente NE zur Norm SN EN 206-1:2000

Kérem tekintsék meg a 2011. januári dolgozatot is:
http://www.betonopus.hu/notesz/kornyezeti-oszt-csiksomlyo.pdf

A betonok környezeti osztályainak áttekintése az MSZ 4798-1:2004 szabvány alapján

Karbonátosodás, fagyás, jégolvasztó sózás hatására károsodott födém

A MSZ 4798-1:2004 szabvány a beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek betonját a környezeti feltételek alapján környezeti osztályba sorolja. A környezeti osztályokat és feltételeket az MSZ 4798-1:2004 szabvány az 1., NAD 4.1., F1. és NAD F1. táblázata tartalmazza. A feltételt képező főbb beton jellemzők (paraméterek) a beton nyomószilárdsági osztálya, a beton cementtartalma és víz-cement tényezője, a friss beton és a kiszárított beton testsűrűsége.

A környezeti osztályok kiterjesztése a következő:

- *Csak beton* elem és vasbetétet nem tartalmazó szerkezet betonjára vonatkozó környezeti osztályok: XN(H), X0b(H);
- *Csak vasbeton* elem és szerkezet betonjára (vasbetétet tartalmazó betonra) vonatkozó környezeti osztály: X0v(H);
- *Csak vasbeton és feszített vasbeton* elem és szerkezet betonjára (vasbetétet vagy feszítőhuzalt és/vagy pászmát tartalmazó betonra) vonatkozó környezeti osztályok: XC…, XD…., XF2(BV-MI), XF3(BV-MI);
- *Beton, vasbeton és feszített vasbeton* elem és szerkezet betonjára *egyaránt* vonatkozó környezeti osztályok: XF…, XA…, XK(H)…, XV(H)….

Ritkán előfordul, hogy nincs környezeti hatásnak kitéve a beton (XN, X0b) vagy a vasbeton (X0v). Egyébként a betont, vasbetont, feszített vasbetont érő környezeti hatások a következők: karbonátosodás (XC…), klorid hatás (XD…), fagy hatás (XF…), kémiai korrózió (XA…), kopás (XK…), víznyomás (XV…). Alig van olyan beton, vasbeton, feszített vasbeton elem vagy szerkezet, amely csak egy környezeti hatásnak van kitéve. Az MSZ 4798-1:2002 szabvány 4.1. szakasza ki is mondja, hogy „a beton ki lehet téve … egy-egy hatásnál többnek is, és azokat a környezeti körülményeket, amelyeknek ki van téve, szükséges lehet ennélfogva a környezeti osztályok kombinációjaként kifejezni". Az *1. táblázat* ilyen környezeti osztály társításokat (környezeti osztály csoportokat) tartalmaz az MSZ 4798-1:2004 szabvány környezeti osztályainak figyelembe vételével, a *2. táblázat* pedig ezek alkalmazására ad példákat.

A környezeti osztályok követelmény értékeit Az MSZ 4798-1:2004 szabványban 50 év beton élettartam és CEM I fajtájú 32,5 nyomószilárdsági jelű portlandcementek alkalmazása feltételezésével határozták meg.

Az *1. táblázat* követelményei bármilyen fajtájú 32,5 szilárdsági osztályú cement használata során figyelembe veendők. 42,5 vagy 52,5 szilárdsági osztályú cement alkalmazásakor sem szabad a cementadagolást az *1. táblázatban* megkövetelt cementtartalom alá csökkenteni, sem pedig a víz-cement tényezőt az *1. táblázatban* szereplő megengedett legnagyobb víz-cement tényező fölé emelni, még akkor sem, ha ezáltal az előírt betonszilárdságnál nagyobb eredményt kapunk. Ha szükséges, akkor a megfelelő konzisztenciát képlékenyítő vagy folyósító adalékszerrel kell beállítani.

Az *1. táblázat* követelmény értékei a tömegbetonok kis felület/térfogat hányadosára való tekintettel CEM 22,5 jelű nagyon kis hőfejlesztésű különleges cementek esetén is alkalmazhatók.

A fagy és olvasztósó hatásának kitett beton, vasbeton és feszített vasbeton elemek és szerkezetek XF2, XF3, XF4 környezeti osztályú betonjára az MSZ 4798-1:2004 szabvány F1. táblázata kimondja, hogy Magyarországon az ilyen a környezeti osztályú betonokat légbuborékképzőszer nélkül készíteni nem szabad. Az MSZ EN 206-1:2002 szabvány ebben a kérdésben nem ilyen szigorú, ugyanis az F1. táblázatban azt írja, hogy: „Ha a betonban nincs mesterséges légbuborék, akkor a beton teljesítményét megfelelő

módszerrel meg kell vizsgálni olyan betonnal összehasonlítva[1], amelyre az adott környezeti osztály esetén a fagyás/olvadás állóságot bebizonyították."[2] Magyarországon is tapasztalat, hogy fagy- és olvasztósó-álló betont légpórusképzőszer alkalmazása nélkül is lehet készíteni, sőt vasbeton és feszített vasbeton tartószerkezetek készítése során a légbuborékképzőszer használata akár kedvezőtlen is lehet (nőhet a beton vízfelvétele, csökkenhet a beton nyomószilárdsága, testsűrűsége és tömörsége, romolhat az acélbetét tapadása).

Véleményünk szerint mindazon esetekben, amikor valamely — nem útpálya — betonra vagy termékre vonatkozó szabvány, előírás, műszaki irányelv vagy utasítás (egy szóval műszaki dokumentum) a fagy- és olvasztósó-álló beton készítéséhez a légbuborékképzőszer alkalmazását kötelezően nem írja elő (például a közúti hidak építésére vonatkozó ÚT 2-3.402:2000 vagy a közúti hidak tervezésére vonatkozó ÚT 2-3.414:2004 útügyi műszaki előírás), akkor szabad fagy- és olvasztósó-álló betont légbuborékképzőszer alkalmazása nélkül is készíteni. Ez a vélemény a német állásponttal is egyezik, hiszen a DIN 1045-2:2001 szabvány (az EN 206-1:2000 szabvány német nemzeti alkalmazási dokumentuma) a légbuborékképzőszer nélküli fagy- és olvasztósó-álló betonra egyik változatként külön XF2 és XF3 környezeti osztályt is megad. Ezeket a környezeti osztályokat XF2(BV-MI) és XF3(BV-MI) jelekkel szerkezeti (nem útpályaszerkezeti) betonok esetén Magyarországon is alkalmazhatjuk[3]. Fontos, hogy az ilyen beton kellő tömörségű, például a friss beton levegőtartalma legfeljebb 1,5 térfogat% legyen, és fagyállóságát illetőleg fagy- és olvasztósó-állóságát az MSZ 4798-1 szabvány 5.5.6. szakasza, vagy esetleg más, megállapodás szerinti szabvány (lásd a „Fagy- és olvasztósó-álló betonok" c. oldalt) szerinti vizsgálatokkal igazoljuk. A fagy és olvasztósó hatásának kitett betonok e felfogás szerint bővített környezeti osztályait a *3. táblázatban* tekintjük át.

Gondolatmenetünk a fagyállóság vizsgálatának és megítélésének tekintetében az MSZ 4798-1:2004 szabványt követi, amely a következőket írja elő:

---

[1] Tudniillik a „vizsgált" betonon és az azzal együtt fagyasztott, jellegzetesen fagyállónak ismert „referencia" betonon mért tulajdonságokat összehasonlítva.

[2] Az ÖNORM B 3303:2002 mind a négy XF környezeti osztályra részben különböző összetételű referencia (nullbeton), azaz összehasonlító beton alkalmazását írja elő, és a fagyasztási vizsgálatot ezekkel együtt végezteti el.

[3] A (BV-MI) jelölés a Beton- és Vasbetonépítési Műszaki Irányelvre utal.

- Az XF1 és az XF3 környezeti osztályban — ha a fagyállóságot nem a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor — a fagyállóságot együtt a „referencia” betonnal, az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának A esete szerint kell megvizsgálni és értékelni.
- Az XF2 és az XF4 környezeti osztályban — ha a fagyállóságot nem a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor — a fagyállóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának B esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. Ha a fagyállóságot a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor a szilárd beton légbuborék-eloszlását és távolsági tényezőjét is meg kell határozni az MSZ EN 480-11:2000 szerint.

A fagyállósági környezeti osztályok javaslatunk szerint kiegészülnek az XF2(BV-MI) és XF3(BV-MI) környezeti osztályokra vonatkozó előírással:

- Az XF2(BV-MI) környezeti osztályban a fagyállóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának B esete szerint kell megvizsgálni és értékelni.
- Az XF3(BV-MI) környezeti osztályban a fagyállóságot együtt a „referencia” betonnal, az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának A esete szerint kell megvizsgálni és értékelni.

Az építési célnak — beleértve a tartósságot is — csak a kellően bedolgozott, megkövetelt tömörségű, zárványmentes beton felel meg, ezért a bedolgozott friss beton levegőtartalmát az *1. táblázat* szerint korlátozni kell. Magyarországon a friss beton bennmaradt levegőtartalmának (a levegőzárványoknak) ajánlott tervezési értéke általában legfeljebb 2 térfogat%, a vízzáró betoné legfeljebb 1 térfogat%, a kopásálló zúzottkőbetoné is legfeljebb 2 térfogat%. A légbuborékképző adalékszer nélkül készített fagyálló, függőleges felületű betoné (XF1 környezeti osztály) legfeljebb 1,5 térfogat%, fagyálló, vízszintes felületű betoné [XF3(BV-MI) környezeti osztály], ill. fagy- és olvasztósó-álló függőleges felületű betoné [XF2(BV-MI] környezeti osztály) legfeljebb 1,5 térfogat% legyen.

A légbuborékképző adalékszerrel készített fagyálló, illetve fagy- és olvasztósó-álló beton (XF2, XF3, XF4 környezeti osztály) esetén az összes levegőtartalom megengedett

legnagyobb értéke a fagy- és olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4 térfogat%) + max. 4 térfogat% (lásd az *1. táblázatot*).

Az újrahasznosított adalékanyagú beton esetén az adalékanyag kedvezőtlenebb szemalakjára tekintettel általában 0,5 térfogat%-kal nagyobb megengedett friss beton levegőtartalom értékek alkalmazhatók, mint amekkorákat az MSZ 4798-1:2004 szabvány az 5.4.3. szakaszban és az F mellékletben homokos kavics adalékanyag feltételezése mellett megenged.

Az *1. táblázat* szerinti levegőtartalom határérték, a beton összetétele és a beton alkotó anyagainak testsűrűsége figyelembevételével a következők szerint ki kell számítani a bedolgozott friss beton tervezett testsűrűségét:

$$\rho_{friss\ beton} = M_C + x \cdot M_C + \rho_A \cdot \left(1 - \frac{M_C}{\rho_C} - \frac{x \cdot M_C}{1000} - \frac{V_L^{\%}}{100} \right) \qquad [kg/m^3]$$

ahol: M_C = a beton tervezett cementtartalma, kg/m^3

x = a beton tervezett víz-cement tényezője

$M_{V,\ alap} = x \cdot M_C$ = az alap keverővíz tömege 1 m^3 bedolgozott friss betonban, kg/m^3

$V_L^{\%}$ = a friss beton tervezett levegőtartalma, térfogat%

ρ_A = az adalékanyag keverék szemeinek súlyozott testsűrűsége kiszárított állapotban, kg/m^3

ρ_C = a cement anyagsűrűsége, kg/m^3

A fenti kifejezésben az adalékanyag m^3-ben kifejezett tervezett térfogata 1 m^3 bedolgozott friss betonban:

$$V_A = 1 - \frac{M_C}{\rho_C} - \frac{x \cdot M_C}{1000} - \frac{V_L^{\%}}{100} \qquad [m^3/m^3]$$

és a beton tervezett adalékanyag tartalma:

$$M_A = \rho_A \cdot V_A \qquad [kg/m^3]$$

Az adalékanyag keverék szemeinek súlyozott testsűrűségét a következő egyenlettel lehet kiszámítani:

$$\rho_A = \frac{1}{\left(\frac{\alpha}{\rho_\alpha} + \frac{\beta}{\rho_\beta} + \frac{\gamma}{\rho_\gamma} + \ldots\right)} \qquad [kg/m^3]$$

ahol: α, β, γ ... az adalékanyag keveréket alkotó frakciók tömegaránya, 0 és 1 közé eső nevezetlen szám

ρ_α, ρ_β, ρ_γ … az adalékanyag keveréket alkotó frakciók szemeinek átlagos testsűrűsége kiszárított állapotban, kg/m^3

A ρ_A súlyozott testsűrűséget kell használni az adalékanyag keverékre akkor is, ha annak természetes adalékanyag frakciói különböző kőzet-fajtájúak (például homok, kavics, mészkő, andezit vagy bazalt zúzottkő stb.).

Az adott összetételű friss beton bedolgozása akkor megfelelő, ha a friss beton próbatesteken mért „tapasztalati" testsűrűségek átlaga a tervezett értéknél nem kisebb, és e feltétel teljesülése mellett az egyedi testsűrűség legfeljebb 30 kg/m^3-rel kisebb. Az adalékanyag frakciók (szemeinek átlagos) testsűrűségét az MSZ EN 1097-6:2001 szabvány szerint, a friss beton („tapasztalati") testsűrűségét az MSZ EN 12350-6:2000 szabvány szerint, a friss beton levegőtartalmát az MSZ EN 12350-7:2000 szabvány szerint kell megmérni.

Egyéb adat hiányában a természetes homok testsűrűségét 2625 kg/m^3, a természetes kavics testsűrűségét 2650 kg/m^3, a tömött mészkő zúzottkő testsűrűségét 2675 kg/m^3, a dolomit zúzottkő testsűrűségét 2750 kg/m^3, a dácit zúzottkő testsűrűségét 2525 kg/m^3, az andezit zúzottkő testsűrűségét 2550 kg/m^3, a bazalt zúzottkő testsűrűségét 2850 kg/m^3, a szulfátálló cement anyagsűrűségét 3200 kg/m^3, a CEM I 42,5 jelű cement anyagsűrűségét 3150 kg/m^3, a CEM I 32,5 jelű cement anyagsűrűségét 3100 kg/m^3, a CEM II fajtájú cement anyagsűrűségét 3000 kg/m^3 légszáraz állapotra vonatkozó, közelítő átlagos értékkel szabad figyelembe venni.

A fenti összefüggések nulla vízfelvételű adalékanyagra érvényesek.

A friss beton tervezett testsűrűségéből a légszáraz állapotú, 28 napos, megszilárdult beton tervezett testsűrűségét annak feltételezésével lehet *közelítőleg* számítani, hogy a cementkő egyensúlyi víz-cement tényezője az $x_e = 0{,}281 + 0{,}1 \cdot x$ összefüggéssel

fejezhető ki [4], tehát az elpárolgó víz tömege, azaz a friss és a megszilárdult beton testsűrűségének különbsége: $(0{,}9 \cdot x - 0{,}281) \cdot M_C$, ahol x a víz-cement tényező és M_C a cementtartalom (*Palotás*, 1979).

Az erőtani számítás eredménye alapján megállapított nyomószilárdsági osztály és a környezeti feltételek alapján megkövetelt mértékadó nyomószilárdsági osztály eltérő lehet. Az erőtani számítás szerint szükséges és a környezeti hatások szerint mértékadó nyomószilárdsági osztály közül a nagyobbat kell alkalmazni, és az ehhez tartozó cementtartalmat, víz-cement tényezőt, megengedett friss beton levegőtartalom által megkövetelt testsűrűséget kell a betongyártáshoz követelményként előírni. Valamennyi előírt érték elégítse ki a társított környezeti osztályok megfelelő feltételének a mértékadó követelményét is.

A környezeti osztályok feltételeinek követelményei közül a víz-cement tényező (az ún. „alap víz-cement tényező", azaz a friss beton keverékben „szabadon" lévő vízből és a cementtartalomból számított víz-cement tényező), a cementtartalom és a levegőtartalom (illetve a friss betonnak ezektől, valamint a betonalkotók testsűrűségétől és részarányától függő testsűrűsége) az elsődleges. Ha valamely beton laboratóriumi vizsgálatokkal *próbatesteken meghatározott nyomószilárdsági osztálya* csak egy osztállyal marad el az adott környezeti osztályban megkövetelt értéktől, de

- víz-cement tényezője (alap víz-cement tényezője), cementtartalma és a friss beton levegőtartalma, illetve testsűrűsége igazolható módon megfelel a környezeti osztály követelményének,
- a beton laboratóriumi vizsgálatokkal próbatesteken meghatározott átlag nyomószilárdsága, illetve nyomószilárdsági osztálya eléri a betonnak az erőtani számítás, termékszabvány, műszaki irányelv (szakági előírás) szerint szükséges átlag nyomószilárdságát, illetve nyomószilárdsági osztályát,
- valamint a felhasználásával készült *termék* megfelel a vonatkozó termékszabvány vagy műszaki irányelv szerinti szilárdsági (nyomó, hajlító, hasító) követelménynek,

akkor a betont vagy könnyűbetont megfelelőnek szabad (nem kell!) minősíteni.

---

[4] Feltételezve, hogy a hidratációs fok 0,85.

Ilyen esetben azonban feltétlenül meg kell győződni arról, hogy a beton nyomószilárdságának elmaradását a várt értéktől nem az adalékanyag 0,02 mm alatti részének túl nagy részaránya okozza-e. Ha az adalékanyag 4 mm alatti szemeinek részhalmazában a 0,02 mm alatti szemek — MSZ 18288-2 szabvány 9. fejezete szerinti térfogatos ülepítéssel meghatározott — térfogata több mint például 8-10 térfogat%, akkor a beton nyomószilárdság vizsgálatát meg kell ismételni egy olyan adalékanyag keverékkel, amelyben a 0,1 mm alatti adalékanyag szemek tömegét az eredetinek például a felére csökkentették, és egy olyan betonösszetétellel is, amelyben a beton cementtartalma az eredetinek például 1,1-szerese. E kísérletek eredménye alapján kell dönteni a beton végleges összetételéről úgy, hogy az a környezeti osztályok *1. táblázat* szerinti követelményét — beleértve lehetőség szerint a nyomószilárdságot is — kielégítse.

1. táblázat. Követelmények és feltételek a környezeti osztályokban

Beton nyomó-szilárdsági osztály [5]	Víz-cement tényező [6] legfeljebb [1]	Cement-tartalom [6] legalább [1] kg/m^3	Friss beton levegő-tartalma [7] legfeljebb térfogat%	Egyéb feltétel és követelmény	Környezeti osztály
	Mértékadó értékek				
C8/10	(0,90)	(165)	2,5	—	XN(H)
C12/15	(0,75)	(230)	2,0	—	X0b(H)
(LC8/9)	(0,75)	(230)	2,0	Könnyű adalékanyag	X0b(H)
(LC25/28)	0,55	300	1,5	Könnyű adalékanyag. A fagyállóságot meg kell vizsgálni.**	X0b(H), XF1
	0,50	310	2,0	Könnyű adalékanyag. Követelmény a mérsékelt kopásállóság (*k* 14/21)	X0b(H), XK1
C16/20	(0,70)	(250)	2,0	—	X0v(H)
C20/25	0,65	260	2,0	—	XC1
C25/30	0,60	280	2,0	—	XC2
	0,60	300	1,0	Követelmény a vízzáróság (h_{max} = 60 mm)	XC2, XV1(H)
	0,55	300	4,0 + 4,0 = 8,0 ******	Az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke a fagy- és olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4,0 térfogat%) + max. 4,0 térfogat%. A fagyállóságot az meg kell vizsgálni.****	XF2
C30/37	0,55	280	2,0	—	XC3
	0,55	300	1,5	A fagyállóságot az meg kell vizsgálni.**	XC2, XD2, XF1
	0,55	300	1,5	A fagyállóságot meg kell vizsgálni.**	XC3, XD1, XF1

[1] – [7] megjegyzést lásd a *2. táblázat* után

1. táblázat folytatódik

Beton nyomó-szilárdsági osztály [5)]	Víz-cement tényező [6)] legfeljebb [1)]	Cement-tartalom [6)] legalább [1)] kg/m^3	Friss beton levegő-tartalma [7)] legfeljebb térfogat%	Egyéb feltétel és követelmény	Környezeti osztály
	Mértékadó értékek				
C30/37	0,50	300	1,5	A fagyállóságot meg kell vizsgálni.**	XC4, XD1, XF1; és XC4, XD2, XF1
	0,50	300	4,0 + 4,0 = 8,0 ******	Az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke a fagy- és olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4,0 térfogat%) + max. 4,0 térfogat%. XA1 esetén: CEM II fajtájú kohósalak-portlandcement[2)], vagy CEM I vagy CEM II fajtájú, S jelű szulfátálló portlandcement[3)] alkalmazása. A fagyállóságot az meg kell vizsgálni.****	XC4, XF2; és XC4, XD2, XF2; és XC4, XF2, XA1
	0,50	300	1,0	A fagyállóságot meg kell vizsgálni.** Követelmény a vízzáróság (h_{max} = 60 mm)	XC4, XF1, XV1(H)

[1)] _ [7)] megjegyzést lásd a *2. táblázat* után

1. táblázat folytatódik

Beton nyomó-szilárdsági osztály [5)]	Víz-cement tényező [6)] legfeljebb [1)]	Cement-tartalom [6)] legalább [1)] kg/m^3	Friss beton levegő-tartalma [7)] legfeljebb térfogat%	Egyéb feltétel és követelmény	Környezeti osztály
	Mértékadó értékek				
C30/37	0,50	320	4,0 + 4,0 = 8,0 ******	Az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke a fagy- és olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4,0 térfogat%) + max. 4,0 térfogat%. CEM I vagy CEM II fajtájú, S jelű szulfátálló portlandcement[3)] alkalmazása. A fagyállóságot az meg kell vizsgálni.****	XC4, XF2, XA2
	0,55	300	1,5	Feltétel XA1 esetén: CEM II fajtájú kohósalak-portlandcement[2)], vagy CEM I vagy CEM II fajtájú, S jelű szulfátálló portlandcement[3)], vagy CEM III/A vagy CEM III/B fajtájú kohósalakcement[4)] alkalmazása. A fagyállóságot meg kell vizsgálni.**	XC2, XD2, XF1, XA1
	0,55	300	1,5		XC3, XD2, XF1, XA1
	0,50	300	1,5		XC4, XD2, XF1, XA1
	0,50	300	1,0	Követelmény a fokozott vízzáróság (h_{max} = 40 mm)	XC4, XV2(H)
	0,50	300	1,0	Követelmény az igen jó vízzáróság (h_{max} = 20 mm)	XC4, XV3(H)

[1)] – [7)] megjegyzést lásd a *2. táblázat* után

1. táblázat folytatódik

Beton nyomó-szilárdsági osztály [5]	Víz-cement tényező [6] legfeljebb [1]	Cement-tartalom [6] legalább [1] kg/m^3	Friss beton levegő-tartalma [7] legfeljebb térfogat%	Egyéb feltétel és követelmény	Környezeti osztály
	Mértékadó értékek				
C30/37	0,50	310	2,0	Követelmény a mérsékelt kopásállóság (*k* 14/21)	XC3, XK1(H)
	0,55	320	1,5	Feltétel XA2 esetén CEM I vagy CEM II fajtájú, S jelű szulfátálló portlandcement[3], vagy CEM III/A vagy CEM III/B fajtájú kohósalakcement[4] alkalmazása. A fagyállóságot meg kell vizsgálni.**	XC3, XD2, XF1, XA2
	0,50	320	1,5		XC4, XD2, XF1, XA2
	0,50	320	1,0	Feltétel XA1 esetén legalább a CEM II fajtájú kohósalak-portlandcement[2], XA2 esetén legalább az S jelű szulfátálló portlandcement[3] alkalmazása. Követelmény a fokozott vízzáróság (h_{max} = 40 mm)	XC4, (XA1, XA2), XV2(H)
	0,50	300	4,0 + 4,0 = 8,0 ******	Az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke a fagy- és olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4,0 térfogat%) + max. 4,0 térfogat%. Követelmény a vízzáróság (h_{max} = 60 mm) is. A fagyállóságot meg kell vizsgálni.****	XC4, XD2, XF2, XV1(H)

[1] – [7] megjegyzést lásd a *2. táblázat* után

1. táblázat folytatódik

Beton nyomó-szilárdsági osztály [5]	Víz-cement tényező [6] legfeljebb [1]	Cement-tartalom [6] legalább [1] kg/m^3	Friss beton levegő-tartalma [7] legfeljebb térfogat%	Egyéb feltétel és követelmény	Környezeti osztály
	Mértékadó értékek				
C30/37	0,50	320	4,0 + 4,0 = 8,0 ******	Az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke a fagy- és olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4,0 térfogat%) + max. 4,0 térfogat%. A fagyállóságot meg kell vizsgálni.**	XC4, XF3
	0,45	340	4,0 + 4,0 = 8,0	Az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke a fagy- és olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4,0 térfogat%) + max. 4,0 térfogat%. A fagyállóságot meg kell vizsgálni.****	XC4, XF4
Vasbeton: C30/37 Feszített vasbeton: C35/45	0,50	300	1,0	A fagyállóságot meg kell vizsgálni.** Követelmény a vízzáróság (h_{max} = 60 mm)	XC4, XD2, XF1, XV1(H)
C35/45	0,45	340	4,0 + 4,0 = 8,0	Az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke a fagy- és olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4,0 térfogat%) + max. 4,0 térfogat%. A fagyállóságot meg kell vizsgálni.**** Követelmény a kopás-állóság (*k* 12/18).	X0b(H), XF4, XK2(H); és XC4, XF4, XK2(H)

[1] – [7] megjegyzést lásd a *2. táblázat* után

1. táblázat folytatódik

Beton nyomó-szilárdsági osztály [5]	Víz-cement tényező [6] legfeljebb [1]	Cement-tartalom [6] legalább [1] kg/m^3	Friss beton levegő-tartalma [7] legfeljebb térfogat%	Egyéb feltétel és követelmény	Környezeti osztály
	Mértékadó értékek				
C35/45	0,45	360	1,5	Feltétel az S jelű szulfátálló portlandcement[3] vagy CEM III/A fajtájú kohósalakcement[4] alkalmazása. A fagyállóságot meg kell vizsgálni.**	XC3, XD2, XF1, XA3
	0,45	360	1,5		XC4, XD2, XF1, XA3
	0,45	330	2,0	Követelmény a kopásállóság (*k* 12/18)	XC4, XK2(H)
	0,45	360	1,0	Feltétel az S jelű szulfátálló portlandcement[3] vagy CEM III/A fajtájú kohósalakcement[4] alkalmazása. Követelmény a fokozott vízzáróság (h_{max} = 40 mm)	XC4, XA3, XV2(H)
Vasbeton: C35/45 Feszített vasbeton: C40/50	0,50	320	1,0	A fagyállóságot meg kell vizsgálni.***** Követelmény a vízzáróság (h_{max} = 60 mm) is.	XC4, XD2, XF2(BV-MI)*, XV1(H)
C35/45	0,50	320	1,0	A fagyállóságot meg kell vizsgálni.*** Követelmény a vízzáróság (h_{max} = 60 mm) is.	XC4, XD2, XF3(BV-MI)*, XV1(H)

[1] – [7] megjegyzést lásd a *2. táblázat* után

1. táblázat folytatódik

Beton nyomó-szilárdsági osztály [5]	Víz-cement tényező [6] legfeljebb [1]	Cement-tartalom [6] legalább [1] kg/m^3	Friss beton levegő-tartalma [7] legfeljebb térfogat%	Egyéb feltétel és követelmény	Környezeti osztály
C40/50	0,40	350	2,0	Követelmény a fokozott kopásállóság (k 10/16)	XC4, XK3(H)
	0,40	350	4,0 + 4,0 = 8,0	Az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke a fagy- és olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4,0 térfogat%) + max. 4,0 térfogat%. A fagyállóságot meg kell vizsgálni.**** Követelmény a fokozott kopásállóság (*k* 10/16).	X0b(H), XF4, XK3(H); és XC4, XF4, XK3(H)

* A (BV-MI) jelölés a „**B**eton- és **V**asbetonépítési **M**űszaki **I**rányelv”-re utal.

** Az XF1 és az XF3 környezeti osztályban — ha a fagyállóságot nem a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor — a fagyállóságot együtt a „referencia” betonnal, az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának A esete szerint meg kell vizsgálni. A fagyállóság vizsgálati szabványok változására tekintettel tessék a „Fagy- és olvasztósó-álló betonok” c. oldalt tanulmányozni.

*** Az XF3(BV-MI) környezeti osztályban a fagyállóságot együtt a „referencia” betonnal, az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának A esete szerint meg kell vizsgálni. A fagyállóság vizsgálati szabványok változására tekintettel tessék a „Fagy- és olvasztósó-álló betonok” c. oldalt tanulmányozni.

**** Az XF2 és az XF4 környezeti osztályban — ha a fagyállóságot nem a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor — a fagyállóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának B esete szerint meg kell vizsgálni. Ha a fagyállóságot a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor a szilárd beton légbuborék-eloszlását és távolsági tényezőjét is meg kell határozni az MSZ EN 480-11:2000 szerint. A fagyállóság vizsgálati szabványok változására tekintettel tessék a „Fagy- és olvasztósó-álló betonok” c. oldalt tanulmányozni.

***** Az XF2(BV-MI) környezeti osztályban a fagyállóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának B esete szerint meg kell vizsgálni. A fagyállóság vizsgálati szabványok változására tekintettel tessék a „Fagy- és olvasztósó-álló betonok” c. oldalt tanulmányozni.

****** Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány NAD 10. táblázata szerint az XF2 és XF3 környezeti osztályban az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke 5,0 térfogat%, hacsak a kezdeti vizsgálat során meg nem győződtek arról, hogy a betonra vonatkozó valamennyi követelmény nagyobb levegőtartalom esetén is betartható.

[1] – [7] megjegyzést lásd a *2. táblázat* után

2. táblázat. Példák a környezeti osztályok csoportjainak alkalmazására

Környezeti osztály	Példák a környezeti osztályok alkalmazására
XN(H)	Korróziónak ki nem tett kis szilárdságú beton: *Aljzatbeton, beton alapréteg, cement-stabilizáció stb.*
X0b(H)	Korróziónak ki nem tett beton: *Vasalatlan alapbeton, kitöltő és kiegyenlítő beton, üreges födémbéléstest, üreges válaszfallap, , üreges zsaluzóelem, kétrétegű járdalap hátbetonja, kétrétegű útburkolóelem hátbetonja, üreges pincefalazóelem, belső főfali üreges főfal-falazóelem, belső főfali tömör főfal-falazóelem stb.*
X0v(H)	Korróziónak ki nem tett, levegőtől, párától, víztől elzárt vasbeton: *Vasalt alapbeton stb.*
XC1	Ritkán száraz *vagy ritkán vizes* helyen, vagy állandóan víz alatt lévő, karbonátosodásnak kitett vasbeton: *Belső pillér, belső födém stb.*
XC2	Nedves, ritkán száraz helyen lévő, karbonátosodásnak kitett vasbeton: *Épületalap, támfalalap, mélyalap, kiegyenlítő lemez stb.*
XC3	Mérsékelten nedves helyen, párás épületben vagy szabadban lévő, de esőtől védett, karbonátosodásnak kitett vasbeton, lásd: *XC3, XD1 stb.*
XC4	Váltakozva nedves és száraz, víznek és karbonátosodásnak kitett vasbeton, lásd: *számos egyéb környezeti osztállyal kombinálva.*
X0b(H), XF1	Korróziónak ki nem tett, fagynak kitett, függőleges felületű, jégolvasztó sózás nélküli fagyálló[8)] beton, amely légbuborékképző adalékszer nélkül készül: *Külső épület fal, külső főfali üreges főfal-falazóelem, külső főfali tömör főfal-falazóelem, külső főfali hőszigetelő falazóelem, lábazat stb.*
XC4, XF1	Váltakozva nedves és száraz, víznek, karbonátosodásnak, fagynak kitett, függőleges felületű, jégolvasztó sózás nélküli fagyálló[8)] vasbeton, amely légbuborékképző adalékszer nélkül készül: E*rkély lemez pereme, szabadban lévő földfeletti fal és oszlop, boltozat stb.*
XC4, XF2	Mint XC4, XF1, de jégolvasztó sók permetének kitett, fagyálló vasbeton, amely légbuborékképző adalékszerrel készül.

2. táblázat folytatódik

Környezeti osztály	Példák a környezeti osztályok alkalmazására
XC4, XD2, XF1, XV1(H)	Váltakozva nedves és száraz, víznek, karbonátosodásnak, fagynak, kloridoknak kitett, függőleges felületű, jégolvasztó sózás nélküli fagyálló[8)] vasbeton (C30/37) és feszített vasbeton (C35/45), amely légbuborékképző adalékszer nélkül készül. Kis üzemi víznyomásnak kitett vízzáró[9)] vasbeton (a szabványosan vizsgált vízbehatolás mélysége legfeljebb 60 mm), amelynek legalább 300 mm vastag falán, 24 óra alatt legfeljebb 0,4 liter/m^2 víz szivárog át: *Legalább C30/37 nyomószilárdsági osztályú vasbeton szerkezeti gerenda, lemez stb.* és ugyanilyen *feszített vasbeton, ha a nyomószilárdsági osztálya legalább C35/45.*
XC4, XD2, XF2, XV1(H)	Mint XC4, XD2, XF1, XV1(H), de jégolvasztó sók permetének kitett, légbuborékképző adalékszerrel készülő, fagyálló vasbeton: *Utak 3 m-es körzetében lévő szerkezetek.*
XC4, XD2, XF2(BV-MI)*, XV1(H)	Mint XC4, XD2, XF1, XV1(H), függőleges felületű, de jégolvasztó sók permetének kitett, fagyálló, légbuborékképző adalékszer nélkül készülő, *legalább C35/45 nyomószilárdsági osztályú vasbeton*, és ugyanilyen *feszített vasbeton, ha a nyomószilárdsági osztálya legalább C40/50. Ilyenek például az ÚT 2-3.414 útügyi előírás M4. táblázata szerinti függőleges felületű vasbeton alépítmények (például szárnyfal)*
XC4, XD2, XF3(BV-MI)*, XV1(H)	Mint XC4, XD2, XF1, XV1(H), de vízszintes felületű, jégolvasztó sózás nélküli, fagyálló, légbuborékképző adalékszer nélkül készülő, *legalább C35/45 nyomószilárdsági osztályú vasbeton és feszített vasbeton.*
XC4, XF1, XA1	Váltakozva nedves és száraz, víznek, karbonátosodásnak, fagynak kitett, enyhén agresszív talajjal vagy talajvízzel[11)] érintkező (vagy más enyhén agresszív kémiai korróziónak kitett) függőleges felületű, jégolvasztó sózás nélküli fagyálló[8)] vasbeton, amely légbuborékképző adalékszer nélkül, CEM II fajtájú kohósalak-portlandcementtel[2)], vagy CEM I vagy CEM II fajtájú, S jelű szulfátálló portlandcementtel[3)], vagy CEM III/A vagy CEM III/B fajtájú kohósalakcementtel[4)] készül: *Pincefal, cölöpöket összekötő fejgerenda stb.*

* Lásd az *1. táblázat* megjegyzését.

2. táblázat folytatódik

Környezeti osztály	Példák a környezeti osztályok alkalmazására
XC4, XF2, XA1	Mint XC4, XF1, XA1, de jégolvasztó sók permetének kitett, fagyálló vasbeton, amely légbuborékképző adalékszerrel készül.
XC3, XD1	Mérsékelten nedves helyen, levegőből származó kloridoknak kitett, de esőnek és jégolvasztó sóknak ki nem tett, korrózióálló vasbeton: *Vegyipari üzemek környezetében lévő, esőnek és jégolvasztó sónak ki nem tett vasbeton stb.*
XC4, XD1, XF1	Váltakozva nedves és száraz, víznek, karbonátosodásnak, fagynak kitett korrózióálló vasbeton, amely légbuborékképző adalékszer nélkül készül: *Vegyipari üzemek környezetében szabadban lévő, vasbeton stb.*
XC2, XD2	Nedves, ritkán száraz helyen, vízben lévő kloridoknak kitett, de jégolvasztó sóknak ki nem tett, korrózióálló vasbeton: *Kloridtartalmú talajvízzel vagy ipari vízzel érintkező vasbeton, vasbeton építmény, medence, úszómedence stb.*
XD3	Magyarországon a fagy/olvadási ciklusoknak és jégolvasztó sóknak kitett vasbetont az XD3 környezeti osztály helyett az XF4 környezeti osztályba kell sorolni!
XF1	Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, jégolvasztó sózás nélküli fagyálló[8)] beton és vasbeton, amely légbuborékképző adalékszer nélkül készül, lásd: *XC4, XF1; és XC4,XD2, XF1; és XC4, XF1, XA2; és XC4, XF1, XV1(H) stb.*
XF2	Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sók permetének kitett fagyálló[8)] beton és vasbeton, amely légbuborékképző adalékszerrel készül. Jégolvasztó sókkal szórt vízszintes felülettel érintkező függőleges felületű beton és vasbeton, lásd: *XC4, XF2; és XC4,XD2, XF2; és XC4, XF2, XA2 stb.*
XC4, XF3	Váltakozva nedves és száraz, vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli, nem közlekedési célú fagyálló[8)] vasbeton, amely légbuborékképző adalékszerrel készül: *Nem közlekedési célú térlefedések stb.*
XC4, XF4	Váltakozva nedves és száraz, vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sóknak közvetlenül kitett, közlekedési célú fagyálló[8)] vasbeton, amely légbuborékképző adalékszerrel készül, lásd: *XC4, XF4, XK2(H); és XC4, XF4, XK3(H) stb.*

2. táblázat folytatódik

Környezeti osztály	Példák a környezeti osztályok alkalmazására
XA1	Enyhén agresszív talajjal vagy talajvízzel[11)] érintkező (vagy más enyhén agresszív kémiai korróziónak kitett), enyhén korrózióálló beton és vasbeton, amely CEM II fajtájú kohósalak-portlandcementtel[2)], vagy CEM I vagy CEM II fajtájú, S jelű szulfátálló portlandcementtel[3)], vagy CEM III/A vagy CEM III/B fajtájú kohósalakcementtel[4)] készül: *Fúrt cölöp*, lásd még: *XC4, XF1, XA1; és XC4, XF2, XA1 stb.*
XA2	Mérsékelten agresszív talajjal vagy talajvízzel[11)] érintkező (vagy más mérsékelten agresszív kémiai korrózióknak kitett), mérsékelten korrózió- és szulfátálló beton és vasbeton, amely CEM I vagy CEM II fajtájú, S jelű szulfátálló portlandcementtel[3)], vagy CEM III/A vagy CEM III/B fajtájú kohósalakcementtel[4)] készül: *Fúrt cölöp*, lásd még: *XC4, XF2, XA2; és XC4, XA2, XV2(H) stb.*
XC4, XF1, XA1	Függőleges felületű, váltakozva nedves és száraz, mérsékelt víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli, nem közlekedési célú, mérsékelten agresszív talajjal vagy talajvízzel[11)] érintkező (vagy más mérsékelten agresszív kémiai korrózióknak kitett) fagyálló[8)] és korrózióálló vasbeton, amely légbuborékképző adalékszer nélkül és CEM II fajtájú kohósalak-portlandcementtel[2)], vagy CEM I vagy CEM II fajtájú, S jelű szulfátálló portlandcementtel[3)], vagy CEM III/A vagy CEM III/B fajtájú kohósalakcementtel[4)] készül: *Támfal stb.*
XC4, XF2, XA1	Mint XC4, XF1,XA1, de jégolvasztó sók permetének kitett, fagyálló vasbeton, amely légbuborékképző adalékszerrel készül.
XA3	Erősen agresszív talajjal vagy talajvízzel[11)] érintkező (vagy más erősen agresszív kémiai korrózióknak kitett), erősen korrózió- és szulfátálló beton és vasbeton, amely CEM I vagy CEM II fajtájú, S jelű szulfátálló portlandcementtel[3)], vagy CEM III/A fajtájú kohósalakcementtel[4)] készül: *Fúrt cölöp, agresszív anyagok tárolótere*, lásd még: *XC4, XA3 stb.*
XC4, XA3	Váltakozva nedves és száraz épületben, erősen agresszív anyagokkal érintkező, erősen korrózió- és szulfátálló vasbeton, amely CEM I vagy CEM II fajtájú, S jelű szulfátálló portlandcementtel[3)], vagy CEM III/A fajtájú kohósalakcementtel[4)] készül: *Agresszív anyagok tárolóterének fala stb.*

2. táblázat folytatódik

Környezeti osztály	Példák a környezeti osztályok alkalmazására
XC2, XV1(H)	Kis üzemi víznyomásnak kitett vízzáró[9] vasbeton (a szabványosan vizsgált vízbehatolás mélysége legfeljebb 60 mm), amelynek legalább 300 mm vastag falán, 24 óra alatt legfeljebb 0,4 liter/m^2 víz szivárog át: *Pincefal, csatornafal, mélyalap, áteresz stb.*
XC4, XF1, XV1(H)	Kis üzemi víznyomásnak, esőnek és fagynak kitett vízzáró[9] és jégolvasztó sózás nélküli fagyálló[8] vasbeton (a szabványosan vizsgált vízbehatolás mélysége legfeljebb 60 mm), amelynek legalább 300 mm vastag falán, 24 óra alatt legfeljebb 0,4 liter/m^2 víz szivárog át, és amely légbuborékképző adalékszer nélkül készül: *Vasalt folyóka, surrantóelem, mederlap, mederburkolóelem, rézsűburkolat, legfeljebb 1 m magas víztároló medence, záportározó, esővízgyűjtő akna stb.*
XC4, XV2(H)	Kis vagy nagy üzemi víznyomásnak kitett fokozottan vízzáró[9] vasbeton (a szabványosan vizsgált vízbehatolás mélysége legfeljebb 40 mm), amelynek kis üzemi víznyomás esetén legfeljebb, nagy üzemi víznyomás esetén legalább 300 mm vastag falán, 24 óra alatt legfeljebb 0,2 liter/m^2 víz szivárog át: *Vízépítési szerkezetek, gátak, partfalak, 1 m-nél magasabb víztároló medence, föld alatti garázs, aluljáró külön szigetelőréteg nélkül stb.*
XC4, (XA1, XA2), XV2(H)	Kis vagy nagy üzemi víznyomásnak kitett, enyhén vagy mérsékelten agresszív talajjal[11] érintkező (vagy más enyhén vagy mérsékelten agresszív kémiai korróziónak kitett), fokozottan vízzáró[9] vasbeton (a szabványosan vizsgált vízbehatolás mélysége legfeljebb 40 mm), amelynek kis üzemi víznyomás esetén legfeljebb, nagy üzemi víznyomás esetén legalább 300 mm vastag falán, 24 óra alatt legfeljebb 0,2 liter/m^2 víz szivárog át, és amely XA1 esetén legalább CEM II fajtájú kohósalak-portlandcementtel[2], XA2 esetén CEM I vagy CEM II fajtájú, S jelű szulfátálló portlandcementtel[3], vagy CEM III/A vagy CEM III/B fajtájú kohósalakcementtel[4] készül: *Földalatti alaptestek, kiegyenlítő lemezek, keretszerkezetek stb.*

2. táblázat folytatódik

Környezeti osztály	Példák a környezeti osztályok alkalmazására
XC4, XA3, XV2(H)	Kis vagy nagy üzemi víznyomásnak kitett, erősen agresszív talajjal[11)] érintkező (vagy más erősen agresszív kémiai korróziónak kitett), fokozottan vízzáró[9)] vasbeton (a szabványosan vizsgált vízbehatolás mélysége legfeljebb 40 mm), amelynek kis üzemi víznyomás esetén legfeljebb, nagy üzemi víznyomás esetén legalább 300 mm vastag falán, 24 óra alatt legfeljebb 0,2 liter/m^2 víz szivárog át, és amely CEM I vagy CEM II fajtájú, S jelű szulfátálló portlandcementtel[3)], vagy CEM III/A fajtájú kohósalakcementtel[4)] készül: *Földalatti alaptestek, kiegyenlítő lemezek, keretszerkezetek stb.*
XC4, XV3(H)	Nagy üzemi víznyomásnak kitett igen vízzáró[9)] vasbeton (a szabványosan vizsgált vízbehatolás mélysége legfeljebb 20 mm), amelynek legfeljebb 300 mm vastag falán, 24 óra alatt legfeljebb 0,1 liter/m^2 víz szivárog át: *Mélygarázs, alagút külön szigetelőréteg nélkül stb.*
X0b(H), XK1(H)	Korróziónak ki nem tett helyen, mérsékelten kopásálló, k 14/21 jelű beton[10)]: *Belső térben lévő könnyűbeton járólap stb.*
XC3, XK1(H)	Mérsékelten nedves helyen, nagy relatív páratartalmú épületben, vagy a szabadban, esőtől védett helyen, mérsékelten kopásálló, k 14/21 jelű vasbeton[10)]: *Siló, bunker, tartály könnyű anyagok tárolására, garázspadozat, lépcső stb.*
XC4, XK2(H)	Váltakozva nedves és száraz, víznek kitett helyen, kopásálló, k 12/18 jelű vasbeton[10)]: *Nehéz anyagok tárolója, gördülő hordalékkal érintkező beton stb.*
X0b(H), XF4, XK2(H)	Korróziónak ki nem tett, vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sóknak közvetlenül kitett, közlekedési célú, k 12/18 jelű kopásálló[10)], fagyálló[8)] beton, amely légbuborékképző adalékszerrel készül: *Szabadban lévő egyrétegű járda és járdalap, kétrétegű járdalap kopórétege, normál útszegélyelem, lépcső, térkő stb.*
XC4, XF4, XK2(H)	Váltakozva nedves és száraz, víznek kitett helyen, vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sóknak közvetlenül kitett, közlekedési célú, k 12/18 jelű kopásálló[10)], fagyálló[8)] vasbeton, amely légbuborékképző adalékszerrel készül: *Szabadban lévő vasbeton lépcső, aknafedlap stb.*

2. táblázat folytatódik

Környezeti osztály	Példák a környezeti osztályok alkalmazására
XC4, XK3(H)	Váltakozva nedves és száraz, víznek kitett helyen, fokozottan kopásálló, k 10/16 jelű vasbeton[10)]: *Nehézipari szerelőcsarnok padlója stb.*
X0b(H), XF4, XK3(H)	Korróziónak ki nem tett, vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sóknak közvetlenül kitett, közlekedési célú, k 10/16 jelű fokozottan kopásálló[10)], fagyálló[8)] beton, amely légbuborékképző adalékszerrel készül: *Egyrétegű útburkolóelem, kétrétegű útburkolóelem kopórétege, kopásálló útszegélyelem, vasalatlan útpályaburkolat, repülőtéri pályaburkolat, konténer átrakó állomás térburkolata stb.*
XC4, XF4, XK3(H)	Váltakozva nedves és száraz, víznek kitett helyen, vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sóknak közvetlenül kitett, közlekedési célú, k 10/16 jelű fokozottan kopásálló[10)], fagyálló[8)] vasbeton, amely légbuborékképző adalékszerrel készül: *Vasalt útpályaburkolat, repülőtéri pályaburkolat, konténer átrakó állomás térburkolata stb.*

Megjegyzések:

[1)] A zárójelben lévő víz-cement tényező és cementtartalom számértékeket az MSZ 4798-1:2004 szabvány nem tartalmazza, azok korábbi tapasztalatokra épülnek.

[2)] Magyarországon ma CEM II/A-S fajtájú és CEM II/B-S fajtájú kohósalak-portlandcementet (MSZ EN 197-1:2000) a 32,5 szilárdsági osztályban gyártanak.

[3)] Magyarországon ma CEM I fajtájú S jelű szulfátálló portlandcementet és CEM II/A-V fajtájú S jelű szulfátálló pernye-portlandcementet (MSZ 4737-1:2002) a 32,5 szilárdsági osztályban gyártanak.

[4)] Magyarországon ma CEM III/A fajtájú kohósalakcementet (MSZ EN 197-1:2000) és CEM III/B fajtájú szulfátálló kohósalakcementet (MSZ 4737-1:2002) a 32,5 szilárdsági osztályban gyártanak. A CEM III/A 32,5 jelű kohósalakcement legfeljebb C40/50, illetve LC40/44 nyomószilárdsági osztályig, a CEM III/B 32,5 jelű kohósalakcement legfeljebb C30/37, illetve LC30/33 nyomószilárdsági osztályig alkalmazható betonba és vasbetonba, illetve könnyűbetonba. A CEM III fajtájú kohósalakcementet feszített vasbeton készítéséhez nem ajánlott használni, mert portlandcement-klinker tartalma legfeljebb 34 tömeg% és kezdeti szilárdulása lassú. A kohósalak-tartalom növekedésével a légbuborékképző adalékszer hatékonysága csökken, ezért a CEM III fajtájú kohósalakcementet légbuborékképzős fagy- és olvasztósó-álló betonhoz alkalmazni nem szabad.

[5)] A beton nyomószilárdsági osztályát az MSZ 4798-1:2004 szabvány 4.3.1. szakasza szerint kell értelmezni.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány a környezeti osztályokhoz nem rendel könnyűbeton nyomószilárdsági osztályokat. E dolgozatban említett könnyűbeton nyomószilárdsági osztályok az *1. táblázatban* zárójelben

találhatók, és értékeik magyarázata a következő: Adott környezeti osztályban előírt érték a megengedett víz-cement tényező és a legkisebb cementtartalom, amelyek alkalmazásával könnyűbeton készítése során feltételezésünk szerint egy osztállyal kisebb $f_{ck,cyl}$ nyomószilárdság érhető el, mint közönséges betonnal. Például, ha az X0b(H) környezeti osztályban legfeljebb 0,75 értékű „alap víz-cement tényező"-vel és legalább 230 kg/m^3 cementtartalommal legalább C12/15 közönséges beton nyomószilárdsági osztályt kell elérni, akkor feltételezzük, hogy ugyanekkora „alap víz-cement tényező" és cementtartalom mellett a könnyűbeton esetén csak LC8/9 nyomószilárdsági osztály követelhető meg. Ilyen közönséges beton és könnyűbeton nyomószilárdsági érték-párok tehát e dolgozatban: C12/15 – LC8/9, C25/30 – LC20/22 és C30/37 – LC25/28.

[6)] A víz-cement tényezőt (*2.10. szakasz*) és a cementtartalmat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.4.2. szakasza szerint kell értelmezni.

[7)] Az építési célnak — beleértve a tartósságot is — csak a kellően bedolgozott, megkövetelt tömörségű beton felel meg, ezért a bedolgozott friss beton levegőtartalmát az *1. táblázat* szerint korlátozni kell. A friss beton tervezett testsűrűségét az.*1. táblázat* szerinti levegőtartalom határértékek, a beton összetétele és a beton alkotó anyagainak testsűrűsége figyelembevételével az *5.1. szakasz* szerint ki kell számítani. A bedolgozott friss beton próbatestek testsűrűségének, illetve a több próbatest alkotta minták átlagos testsűrűségeinek nem szabad kisebbnek lennie, mint a friss beton tervezett testsűrűsége. A friss beton testsűrűségét az MSZ EN 12350-6:2000 szabvány szerint, a friss beton levegőtartalmát az MSZ EN 12350-7:2000 szabvány szerint kell megmérni. A tapasztalati levegőtartalmat egyszerűen és gyorsan ki is lehet számítani, és ha az alapadatok pontosak, akkor az eredmény megbízható lesz, és a levegőtartalom mérés akár el is hagyható.

A friss beton levegőtartalma *feszített vasbeton* esetén a táblázatban foglalt értékeknél 0,5 térfogat%-kal legyen kisebb. Ha a beton *újrahasznosított adalékanyaggal* készül, akkor a levegőtartalom a táblázatban szereplő értékeknél 0,5 térfogat%-kal nagyobb lehet.

[8)] A beton fagyállóságát az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakasz szerint kell vizsgálni.

[9)] A beton vízzáróságát az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.3. szakasza szerint kell vizsgálni.

[10)] A beton kopásállóságát az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.7. szakasza szerint kell vizsgálni.

[11)] A természetes talaj és talajvíz okozta kémiai korrózióval kapcsolatos vizsgálatokról az MSZ 4798-1:2004 szabvány 2. táblázata ad tájékoztatást. Más kémiai korrózióval kapcsolatos vizsgálatokat az agresszív közegtől függően esetenként kell előírni.

3. táblázat. Környezeti osztályok fagy (XF1, XF3, XF3(BV-MI)) és egyidejűleg olvasztósó (XF2, XF2(BV-MI), XF4) hatásának kitett, légbuborékképzőszerrel (XF2, XF3, XF4) és légbuborékképző nélkül (XF1, XF2(BV-MI), XF3(BV-MI) készülő betonok esetén

	Környezeti osztályok fagyás-olvadás okozta károsodás esetén					
	az MSZ EN 206-1:2002 és az MSZ 4798-1:2004 szabvány F1. táblázata szerint				a DIN 1045-2:2001 szabvány F.2.2. táblázata alapján	
Környezeti osztály jele	XF1	XF2	XF3	XF4	XF2(BV-MI) d)	XF3(BV-MI) e)
		Légbuborékképző**szerrel**			Légbuborékképző**szer nélkül**	
Legnagyobb v/c	0,55	0,55	0,50	0,45	0,50	0,50
Legkisebb szilárdsági osztály c)	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45
Legkisebb cementtar-talom, kg/m^3	300	300	320	340	320	320
Összes levegő-tartalom a friss betonban, legalább, térfogat%	-	4,0	4,0	4,0	-	-
Friss beton levegő-tartalma 7), legfeljebb, térfogat%	1,5	4,0 + 4,0 = 8,0 *	4,0 + 4,0 = 8,0 *	4,0 + 4,0 = 8,0	1,5	1,5
Egyéb követel-mények	Az MSZ EN 12620:2003 szerinti kielégítő fagyás/olvadás állóságú adalékanyag					

* Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány NAD 10. táblázata szerint az XF2 és XF3 környezeti osztályban az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke 5,0 térfogat%, hacsak a kezdeti vizsgálat során meg nem győződtek arról, hogy a betonra vonatkozó valamennyi követelmény nagyobb levegőtartalom esetén is betartható.

3. táblázat folytatódik

3. táblázat folytatása

	Környezeti osztályok fagyás-olvadás okozta károsodás esetén					
	az MSZ EN 206-1:2002 és az MSZ 4798-1:2004 szabvány F1. táblázata szerint				a DIN 1045-2:2001 szabvány F.2.2. táblázata alapján	
Környezeti osztály jele	XF1	XF2	XF3	XF4	XF2(BV-MI) [d]	XF3(BV-MI) [e]
		Légbuborékképzőszerrel			Légbuborékképzőszer nélkül	
	„[a] Ha a betonban nincs mesterséges légbuborék, akkor a beton teljesítményét (értsd alatta: teljesítőképességét, azaz fagy- és olvasztósó-állóságát) megfelelő módszerrel meg kell vizsgálni olyan betonnal összehasonlítva, amelyre az adott környezeti osztály esetén a fagyás/olvadás állóságot bebizonyították. Magyarországon XF2, XF3 és XF4 környezeti osztályú betont légbuborékképzőszer nélkül készíteni nem szabad…” (MSZ 4798-1:2004 F1. táblázat) „[c] A legkisebb szilárdsági osztály tájékoztató adat.” (MSZ 4798-1:2004 F1. táblázat) [7] A megjegyzés a *2. táblázat* alatt található				[d] Az XF2(BV-MI) környezeti osztályban a fagyállóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának B esete szerint meg kell vizsgálni. [e] Az XF3(BV-MI) környezeti osztályban a fagyállóságot együtt a „referencia” betonnal, az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának A esete szerint meg kell vizsgálni.	

4. táblázat. Osztrák előírás (itthon is követendő) a fagy- és olvasztósó-álló betonok összes levegőtartalmára

Az osztrák ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány NAD 10. táblázatában a friss, bedolgozott fagy- és olvasztósó-álló betonok összes levegőtartalmát a péptérfogat függvényében, ill. péptelített betont feltételezve az adalékanyag legnagyobb szemnagyságára vetítve írják elő, a következőképpen, amelynek követése Magyarországon is ajánlott:		
Környezeti osztály	XF2 és XF3	XF4
Összes levegőtartalom a friss cementpépben, legalább, térfogat%	9,0	13,0
Legnagyobb szemnagyság, mm	Összes levegőtartalom a friss betonban, térfogat%	
4	4,0 – 6,0 *	7,0 – 11,0
8 és 12	4,0 – 6,0 *	6,0 – 10,0
16	3,0 – 5,0	4,5 – 8,5
24 és 32	2,5 – 5,0	4,0 – 8,0
63	2,0 – 4,0	3,0 – 7,0
* Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány NAD 10. táblázata szerint az XF2 és XF3 környezeti osztályban az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke 5,0 térfogat%, hacsak a kezdeti vizsgálat során meg nem győződtek arról, hogy a betonra vonatkozó valamennyi követelmény nagyobb levegőtartalom esetén is betartható.		

Az erőtani számítás szerint szükséges és a környezeti hatások szerint mértékadó nyomószilárdsági osztály közül a nagyobbat kell alkalmazni, és az ehhez tartozó cementtartalmat, víz-cement tényezőt, megengedett friss beton levegőtartalom által megkövetelt testsűrűséget kell a betongyártáshoz követelményként előírni. Valamennyi előírt érték elégítse ki a társított környezeti osztályok megfelelő feltételének a mértékadó követelményét is.

Felhasznált irodalom:

Palotás László: Fa – Kő – Fém – Kötőanyagok. Mérnöki szerkezetek anyagtana 2. Akadémiai kiadó, Budapest, 1979.

MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon

DIN 1045-2:2001 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton — Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V.: Betonherstellung und Verwendung nach neuer Norm. Ernst & Sohn. Berlin, 2003.

ÖNORM B 3303:2002 Prüfverfahren für Frost/Tauwiderstand von Beton

ÖNORM B 4710-1:2007 Beton – Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis, az ÖNORM EN 206-1 európai szabvány nemzeti alkalmazási dokumentuma

Balázs L. György – Kausay Tibor: Az MSZ EN 206-1 betonszabvány és alkalmazása. Fejezet a „Betonszerkezeti EU szabványok hazai bevezetése, alkalmazása. Beton évkönyv 2005" című kiadványban. MB-MABESZ-MÉASZ, Budapest, 2005. pp. 45-62.

Tariczky Zsuzsanna dr. okl. építőmérnök „Hídépítési betonok" címmel a „Korszerű betonok a nagy beruházásokban" című konferencián (Budapest, 2004. június 8.) elhangzott előadása

Békássy Anikó okl. építőmérnök, okl. betontechnológiai szakmérnök kézirata

A dolgozat 2005. július 1-én készült. Frissítés: 2008. augusztus 23.

Kérem tekintsék meg a 2011. januári dolgozatot is:
http://www.betonopus.hu/notesz/kornyezeti-oszt-csiksomlyo.pdf

ÉPÍTŐANYAGOK MSC
KÖRNYEZETI OSZTÁLYOK

Dr. Kausay Tibor
BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Budapest, 2017. április 5.
Frissítve: 2020. április 10.

BETON KÖRNYEZETI OSZTÁLYAI

az MSZ 4798:2016 és MSZ 4798:2016/2M:2018 szabvány alapján [1]

BETON JELE	Nyomószilárdsági osztály	Környezet. osztály(ok)	Legnagyobb szemnagyság, mm	Konzisztencia	50 évtől eltérő tervezés. élettartam	Szabvány száma
Példák:	C30/37	– XC4	– 32	– F3		– MSZ 4798:2016
	C35/45 – AC_{50}(H) [2]	– XC4 – XA3	– 24	– S2	– 100 év	– MSZ 4798:2016

Alkalmazási terület	Környezeti osztály jele	Beton nyomószilárdsági osztálya, legalább [2]	Beton cementtartalma, legalább, kg/m^3	Beton víz-cement tényezője, legfeljebb	Friss beton levegőtartalma [3] MSZ 4798 táblázata
Környezeti hatásoknak ellen nem álló, azoknak ki nem tett beton szerkezetek					
Káros környezeti hatás nem éri a szilárdsági szempontból alárendelt jelentőségű beton	X0b(H)	C8/10	165	0,90	NAD F2
	Például: Aljzatbeton, betonalapréteg, cement-stabilizáció				
Káros környezeti hatás nem éri a betont	X0b(H)	C12/15	230	0,75	NAD F2
	Például: Vasalatlan alapbeton, kitöltő és kiegyenlítő beton, üreges födémelemtest, üreges válaszfallap, üreges zsaluzóelem, kétrétegű járdalap hátbetonja, kétrétegű útburkolóelem hátbetonja, üreges pince-falazóelem, belső főfali üreges főfal-falazóelem, belső főfali tömör főfal-falazóelem				
Környezeti hatásoknak ellen nem álló, azoknak ki nem tett vasalt beton (nem vasbeton) szerkezetek					
Karbonátosodáson kívül egyéb **káros környezeti hatás nem** éri a vasalt betont (nem vasbetont.)	X0v(H)	C16/20	250	0,70	NAD F2.
	Például: Száraz helyen lévő vasalt alapbeton, vasalt térhatároló beton				
Karbonátosodásnak ellenálló vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek					
Száraz vagy tartósan nedves helyen, állandóan víz alatt lévő beton	XC1	C20/25	260	0,65	NAD F2
	Például: Belső pillér, belső födém, vízszint alatti betonok				
Nedves, ritkán száraz helyen lévő beton	XC2	C25/30	280	0,60	NAD F2.
	Például: Épületalap, támfalalap, mélyalap, alaplemez, kiegyenlítő lemez betonja				
Mérsékelten nedves helyen, nagy relatív páratartalmú épületben lévő beton	XC3	C30/37	280	0,55	NAD F2.
	Például: Fürdőépület szerkezete, szabadban lévő esőtől védett szerkezetek betonja				
Váltakozva nedves és száraz, vízpermetnek kitett helyen lévő beton	XC4	C30/37	300	0,50	NAD F2.
	Például: Szárnyfal, pincefal, fúrt cölöp, cölöp-fejgerenda, mederfal, külső fal, pillér vagy födém betonja				
Kloridoknak ellenálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek [4]					
Mérsékelten nedves helyen, levegőből származó kloridokkal (sópárával), de jégolvasztó sókkal nem érintkező beton	XD1	C30/37	300	0,55	NAD F2.
	Például: Vegyipari üzem szerkezete, szabadban lévő szerkezet vegyipari üzem környezetében, sópince és környezete				
Nedves, ritkán száraz helyen, vízben lévő kloridokkal érintkező, de jégolvasztó sókkal nem érintkező beton	XD2	C35/45	320	0,50	NAD F2.
	Például: Alépítmény, szárnyfal, sós ásvány- és gyógyvizekkel érintkező szerkezetek, klorid tartalmú talajvízzel érintkező szerkezetek, ha az agresszív víz klorid-tartalma $Cl^- > 500$ mg/liter				
Váltakozva nedves és száraz helyen, jégolvasztó kloridok permetével, sólével érintkező beton	XD3	C35/45	320	0,45	NAD F2.
	Például: Parkolóházak és garázsok fagyhatásnak ki nem tett betonja				

MEGJEGYZÉSEK

1) E táblázat alkalmazása az MSZ 4798:2016 és MSZ 4798:2016/2M:2018 szabvány szerint kötelező.

2) Vasbetont csak legalább C20/25, feszített vasbetont csak legalább C30/37 nyomószilárdsági osztályú betonból szabad készíteni (MSZ 4798:2016 és MSZ EN 13369:2013)

Ha a beton nyomószilárdsági osztályát az Eurocode 2, illetve az MSZ 4798:2016 szabvány P melléklete szerint értelmezik és határozzák meg, akkor a nyomószilárdsági osztály jele után fel kell tüntetni az AC_T(H) kísérőjelet.

3) A friss beton levegőtartalma feszített vasbeton esetén az MSZ 4798:2016 szabvány szerinti NAD F2., illetve NAD F3.táblázatban szereplő értékesnél 0,5 térfogat%-sal legyen kisebb

Ha a beton újrahasznosított adalékanyaggal készül, akkor a friss beton levegőtartalma az MSZ 4798:2016 szabvány szerinti NAD F2., illetve NAD F3 táblázatban szereplő értékeknél 0,5 térfogat%-kal nagyobb lehet.

4) Magyarországon a fagy- és olvasztósó-álló betonokat az XF2, XF2(H), XF4, XF4(H) környezeti osztályok valamelyikébe kell sorolni.

5) A felületet függőlegesnek kell tekinteni, ha 5%-nál meredekebb; ez vízszintesnek, ha lejtése legfeljebb 5%.

A fagy- és olvasztósó-állósági követelményeket az MSZ 4798:2016 szabvány 5.5.5. szakasza szerintiek

6) Az e-UT 07.03.11:2011 útügyi műszaki előírás 2.1.5.2. szakasza szerint légbuborékképző adalékszerek alkalmazása közúti hidas teherhordó szerkezeteiben nem megengedett.

7) A beton környezeti osztályba sorolásához az agresszív talajvíz és talaj kémiai jellemzői az MSZ 4798:2016 szabvány 2. táblázatában találhatók.

Alkalmazási terület	Környezeti osztály jele	Beton nyomószilárdsági osztálya, legalább [2]	Beton cementtartalma, legalább, kg/m^3	Beton víz-cement tényezője, legfeljebb	Friss beton levegőtartalma [3] MSZ 4798 táblázata
Függőleges felületű fagyálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek [5]					
Függőleges felületű és 5%-nál nagyobb lejtésű, mérsékelt víztelítettségű, esőnek és **fagynak kitett, olvasztó sózás** nélküli fagyálló beton	XF1	C30/37	300	0,55	NAD F2.
	Légbuborékképző adalékszer nélkül készül a beton. Például: Monolit és előregyártott szerkezetek				
Függőleges felületű és 5%-nál nagyobb lejtésű, mérsékelt víztelítettségű, esőnek, **fagynak és jégolvasztó sók permetének kitett** fagyálló beton	XF2	C25/30	300	0,55	NAD F3
	Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton. [6] Például: Útépítési és nem teherhordó hídépítési szerkezetek, útpályától legfeljebb 10 m-re lévő szerkezetek				
	XF2(H)	C35/45	320	0,50	NAD F2
	Légbuborékképző adalékszer nélkül készül a beton. Például: Monolit és előregyártott szerkezetek, teherhordó hídépítési szerkezetek, útpályától legfeljebb 10 m-re lévő szerkezetek. Alkalmazása út- és repülőtéri burkolati elemek esetén **tilos!**				
Vízszintes felületű fagyálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek [5]					
Vízszintes felületű és legfeljebb 5%-os lejtésű, nagy víztelítettségű, esőnek és **fagynak kitett, olvasztó sózás** nélküli fagyálló beton	XF3	C30/37	320	0,50	NAD F3
	Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton. [6] Például: Útépítési és nem teherhordó hídépítési szerkezetek, útpályától legfeljebb 10 m-re lévő szerkezetek				
	XF3(H)	C40/50	340	0,45	NAD F2.
	Légbuborékképző adalékszer nélkül készül a beton. Például: Monolit és előregyártott szerkezetek, teherhordó hídépítési szerkezetek, útpályától legfeljebb 10 m-re lévő szerkezetek. Alkalmazása útpályabetonok és repülőtéri burkolatok esetén **tilos!**				
Vízszintes felületű és legfeljebb 5%-os lejtésű, nagy víztelítettségű, esőnek, **fagynak és jégolvasztó sóknak közvetlenül kitett** fagyálló beton	XF4	C30/37	340	0,45	NAD F3
	Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton. [6] Például: Útpályabetonok, hídon átvezetett útburkolatok, repülőtéri burkolatok, nem teherhordó hídépítési szerkezetek, útpályától legfeljebb 10 m-re lévő szerkezetek				
	XF4(H)	C40/50	360	0,40	NAD F2
	Légbuborékképző adalékszer nélkül készül a beton. Például: Monolit és előregyártott szerkezetek, teherhordó hídépítési szerkezetek, útpályától legfeljebb 10 m-re lévő szerkezetek. Alkalmazása útpályabetonok és repülőtéri burkolatok esetén **tilos!**				
Talajvíz és talaj (alapvetően duzzadásos és esetleg oldódásos) **kémiai korróziójának ellenálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek** [7]					
Enyhén agresszív talajvízzel vagy talajjal érintkező beton	XA1	C30/37	300	0,55	NAD F2.
	Például: Pincék, alaptestek, fúrt és talaj-kiszorításos cölöpök, mikrocölöpök, résfalak, tübbingek, mélygarázsok, süllyesztő-szekrények (keszonok), földalatti terek, alagutak, közműcsatornák				
Mérsékelten agresszív talajvízzel vagy talajjal érintkező beton	XA2	C30/37	320	0,50	NAD F2.
	Például: Pincék, alaptestek, fúrt és talaj-kiszorításos cölöpök, mikrocölöpök, résfalak, tübbingek, mélygarázsok, süllyesztő-szekrények (keszonok), földalatti terek, alagutak, közműcsatornák				
Nagymértékben agresszív talajvízzel vagy talajjal érintkező beton	XA3	C35/45	360	0,45	NAD F2
	Például: Pincék, alaptestek, fúrt és talaj-kiszorításos cölöpök, mikrocölöpök, résfalak, tübbingek, mélygarázsok, süllyesztő-szekrények (keszonok), földalatti terek, alagutak, közműcsatornák				

8) A beton környezeti osztályba sorolásához az egyéb agresszív vizek és folyadékok stb. kémiai jellemzői az MSZ 4798:2016 és MSZ 4798:2016/2M:2018 szabvány NAD 2. táblázatában találhatók.

Az MSZ EN 12390-8:2009 szabvány szerint meghatározott legnagyobb vízbehatolás 20 mm lehet.

9) A cement-tartalom a megkövetelt legkisebb értéket legfeljebb 5%-kal haladhatja meg. II. típusú kiegészítőanyag adagolása esetén a legkisebb cement tartalom alatt legkisebb hatékony kötőanyag tartalom értendő.

10) II. típusú kiegészítőanyag adagolása esetén a legnagyobb víz-cement tényező alatt legnagyobb víz-(hatékony kötőanyag) tényező értendő.

11) A kopásállóságot az MSZ 18290-1:1981 szabvány szerinti Böhme-féle vizsgálattal az MSZ 4798:2016 szabvány 5.5.6. szakaszában leírtaknak megfelelően kell meghatározni

12) A beton MSZ 4798:2016/2M:2018 szabvány által módosított MSZ EN 1917:2003 szabvány D mellékleté szerinti vízfelvétele betonszerkezet esetén ≤ 6,0 tömeg%, vasbetonszerkezet esetén ≤ 4,0 tömeg%, feszített vasbeton szerkezet esetén ≤ 2,0 tömeg% legyen.

Alkalmazási terület	Környezeti osztály jele	Beton nyomó szilárdsági osztálya, legalább [2]	Beton cement tartalma, legalább, kg/m^3	Beton víz cement tényezője, legfeljebb	Friss beton levegő tartalma [3] MSZ 4798 táblázata
Egyéb agresszív vizek és folyadékok stb. (alapvetően oldódásos és esetleg duzzadásos) **kémiai korróziójának ellenálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek** [8]					
Közcsatornába bocsátható, **enyhén agresszív** szennyvizek, valamint egyéb enyhén agresszív vizek és folyadékok, gázok, gőzök, permetek, erjedő anyagok környezetében lévő betonok	XA4(H)	C30/37	320 [9]	0,45 [10]	NAD F2.
	Például: Szennyvíztisztító telepek harmadlagos (fizikai-kémiai) tisztítási műtárgyainak betonja, enyhén agresszív szennyvizekkel érintkező műtárgyak, enyhén agresszív kemikáliákkal érintkező egyéb betonok, csapadékvíz (esővíz) tároló műtárgyak stb. betonja				
Közcsatornába bocsátható, **közepesen agresszív** szennyvizek, valamint egyéb közepesen agresszív vizek és folyadékok, gázok, gőzök, permetek, erjedő anyagok környezetében lévő betonok. A beton agresszív kémiai hatásnak kitett felületét ajánlott védőréteggel bevonni	XA5(H)	C30/37	330 [9]	0,43 [10]	NAD F2
	Például: Szennyvíztisztító telepek elsődleges (mechanikai) és másodlagos (biológiai) tisztítási műtárgyainak betonja, közcsatornába bocsátható szennyvizekkel érintkező csatornák, aknák, közterületi átemelők, és szennyvíziszap kezelési műtárgyak betonja, valamint közepesen agresszív szennyvizekkel vagy kemikáliákkal érintkező egyéb betonok, hígtrágyatároló és kezelő medencék, istálló padozatok, hulladéklerakók csurgalékvíz tároló medencéi, terménytárolók, kémény fedkoszorúk stb. betonja				
Közcsatornába nem bocsátható, **fokozottan agresszív** szennyvizek, valamint egyéb fokozottan agresszív vizek és folyadékok, gázok, gőzök, permetek, erjedő anyagok környezetében lévő betonok. A beton agresszív kémiai hatásnak kitett felületét védőréteggel kell bevonni	XA6(H)	C35/45	345 [9]	0,40 [10]	NAD F2.
	Például: Közcsatornába nem bocsátható szennyvizekkel érintkező csatornák, aknák, átemelők és szennyvíztisztító telepi műtárgyak betonja, valamint fokozottan agresszív szennyvizekkel vagy kemikáliákkal érintkező egyéb betonok, hűtőtornyok füstgáz elvezetéssel vagy anélkül, állatetető vályúk, takarmány silók, mezőgazdasági erjesztő silók, faanyag szárító csarnokok, vasúti kocsi mosók, veszélyes hulladék tárolók stb. betonja				
Kopásálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek [11]					
Mérsékelten kopásálló, k14/21 jelű kavics- vagy zúzottkőbeton	XK1(H)	C30/37	310	0,50	NAD F2.
	Például: Silók, bunkerek, tartályok könnyű anyagok tárolására, garázspadozatok, lépcsők, járdalapok, kopásálló réteggel ellátott ipari padlóburkolatok kopásálló réteg nélkül				
Kopásálló, k12/18 jelű zúzottkőbeton	XK2(H)	C35/45	330	0,45	NAD F2
	Például: Nehéz anyagok tárolója, gördülő hordalékkal érintkező betonok, egyrétegű járdalapok és monolit járdák, kétrétegű járdalapok kopórétege, közönséges útszegélyelemek, beton és vasbeton lépcsők, aknafedlapok				
Fokozottan kopásálló, k10/15 jelű zúzottkőbeton	XK3(H)	C40/50	350	0,40	NAD F2.
	Például: Egyrétegű útburkolóelemek, kétrétegű útburkolóelemek kopórétege, kopásálló útszegélyelemek, útpályaburkolatok, repülőtéri fel(le)szállópályák és gördülő utak, konténer átrakó állomások térburkolata				
Igen kopásálló, k8/12 jelű zúzottkőbeton	XK4(H)	C45/55	370	0,38	NAD F2.
	Például: Nehéz és hernyótalpas járművek járta térburkolatok, kopóréteg nélküli ipari padlóburkolatok				
Vízzáró beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek					
Csak légköri nyomáson lévő **nedvességálló** (nem vízzáró) beton [12]	XV0(H)	C25/30	300	0,55	NAD F2.
	Például: Talajvízszint feletti föld alatti szerkezetek, vagy vízelszívással tartósan víztelenített környezetű szerkezetek				
Mérsékelten vízzáró beton, amelybe a víz legfeljebb 50 mm mélyen hatol be [13]	XV1(H)	C25/30	300	0,55	NAD F2
	Például: Pincefalak, csatornafalak, mélyalap, akna, folyóka, surrantóelemek, mederlapok, mederburkolóelem, rézsűburkolat, víztároló medencék, záportározók, esővízgyűjtő aknák				
Közepesen vízzáró beton, amelybe a víz legfeljebb 35 mm mélyen hatol be [13]	XV2(H)	C30/37	300	0,50	NAD F2.
	Például: Vízépítési szerkezetek, gátak, partfalak, víztároló medencék, föld alatti garázsok, aluljárók külön szigetelőréteg nélkül, földalatti alaptestek, kiegyenlítő lemezek				
Fokozottan vízzáró beton, amelybe a víz legfeljebb 20 mm mélyen hatol be [13]	XV3(H)	C30/37	300	0,45	NAD F2
	Például: Mélygarázsok, mélyraktárak, alagutak külső határoló szerkezete, vízépítési műtárgyak				

13) A vízzáróságot az MSZ EN 12390-8:2009 szabvány szerint kell meghatározni

Kausay 2018.

Az MSZ EN 206:2013+A1:2017 és MSZ 4798:2016 betonszabvány szerint készített beton tervezési élettartama általában legalább 50 év!

Rövidebb (pl. 20 év) vagy hosszabb (pl. 100 év) tervezési élettartam kevésbé szigorú vagy szigorúbb követelményekre lehet szükség.

A tervezési élettartam értelmezése az ISO 16204:2012 „Tartósság. Betonszerkezetek élettartamának tervezése” szabványban található.

Kausay

A végleges jellegű közúti hidakra az MSZ EN 1992-1-1:2010 (Eurocode 2) szerint a tervezési élettartam 100 év

Ugyancsak 100 év például a vízépítési műtárgyak tervezési élettartama

Kausay

2005 05 25

2.1. táblázat: Tervezési élettartamok

Osztály	Előírt tervezési élettartam (év)	Példák
1.	10	Ideiglenes tartószerkezetek (1)
2.	10–25	Cserélhető tartószerkezeti részek, például darupályatartók, saruk
3.	15–30	Mezőgazdasági és hasonló tartószerkezetek
4.	50	Épületek tartószerkezetei és egyéb szokásos tartószerkezetek
5.	100	Monumentális épületek tartószerkezetei, hidak és más építőmérnöki szerkezetek

(1) Az olyan tartószerkezeteket vagy azok részeit, melyek újrafelhasználás céljából szétszerelhetők, nem kell ideiglenes szerkezetnek tekinteni.

MSZ EN 1990:2011 szabvány
1.5.2.8. szakasz szerint
a tervezési élettartam (design working life)
az a feltételezett időtartam, melynek során a tartószerkezet vagy annak egy része az előirányzott fenntartás mellett, de jelentős javítási munkák nélkül, a tervezett rendeltetésének megfelelően használható.

Használati élettartam

A használati élettartam tényleges, *tapasztalati érték*.
Időtartam, amely alatt a szerkezetbe épített beton megfelelő fenntartás mellett, de jelentős javítási munkák nélkül, tervezett rendeltetésének megfelelően használható.

A tartós beton használati élettartama nagyobb, vagy legalább akkora, mint a tervezési élettartam.

Az MSZ EN 206:2013+A1:2017, illetve az MSZ 4798:2016 szabvány szerint

Használati élettartam

Az az időtartam, amely alatt a szerkezetbe épített beton tulajdonságai megmaradnak a szerkezet minőségi követelményeit kielégítő szinten, feltéve, hogy a szerkezetet megfelelő módon karbantartják.

Tervezett használati élettartam (tervezési élettartam) németül:

Geplante Nutzungsdauer

Az MSZ EN 206: 2013+A1:2017, illetve MSZ 4798:2016 szabvány a beton legalább 50 évre tervezett tartóssága érdekében környezeti osztályok alkalmazását írja elő.

A tervezési élettartam alatt a beton feltehetően *tartós* lesz, ha a környezeti hatásokat károsodás nélkül viseli.

Így a beton, vasbeton, feszített vasbeton *szerkezetek építéséhez használt betonkeverékek összetételének és tulajdonságainak rendeltetésük szerint illeszkedniük kell a környezeti hatásokat leíró környezeti osztályokhoz*.

Ez azt jelenti, hogy összetételük meg kell feleljen az

x_{max}, c_{min}, $f_{ck,cyl}/f_{ck,cube,min}$,

$V_{levegő,\ előírt}$

határértékeknek,

valamint az esetleges különleges követelményeknek, mint például a fagyállóság, fagy- és olvasztósó-állóság, kopásállóság, vízzáróság.

MSZ 4798:2016 szabvány 5.3.2. szakaszának (5) bekezdése

(5) Az erőtani számítás szerinti szükséges nyomószilárdsági osztály és a környezeti feltételek szerinti szükséges legkisebb nyomószilárdsági osztály közül általában a nagyobb nyomószilárdsági osztályt kell mértékadónak tekinteni.

Ennek értelmében, ha az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály nagyobb, mint a környezeti feltételek szerint szükséges legkisebb nyomószilárdsági osztály, akkor az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály a mértékadó.

Ha az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály kisebb, mint a környezeti feltételek szerint szükséges legkisebb nyomószilárdsági osztály, akkor a mértékadó nyomószilárdsági osztály kiválasztása tekintetében két eset lehetséges:

- ha az adott építmény esetén felelősséggel nem bizonyított, hogy az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti hatásoknak ellenálló beton készítéséhez elegendő, akkor a környezeti feltételek szerint szükséges legkisebb nyomószilárdsági osztályt kell mértékadónak tekinteni;

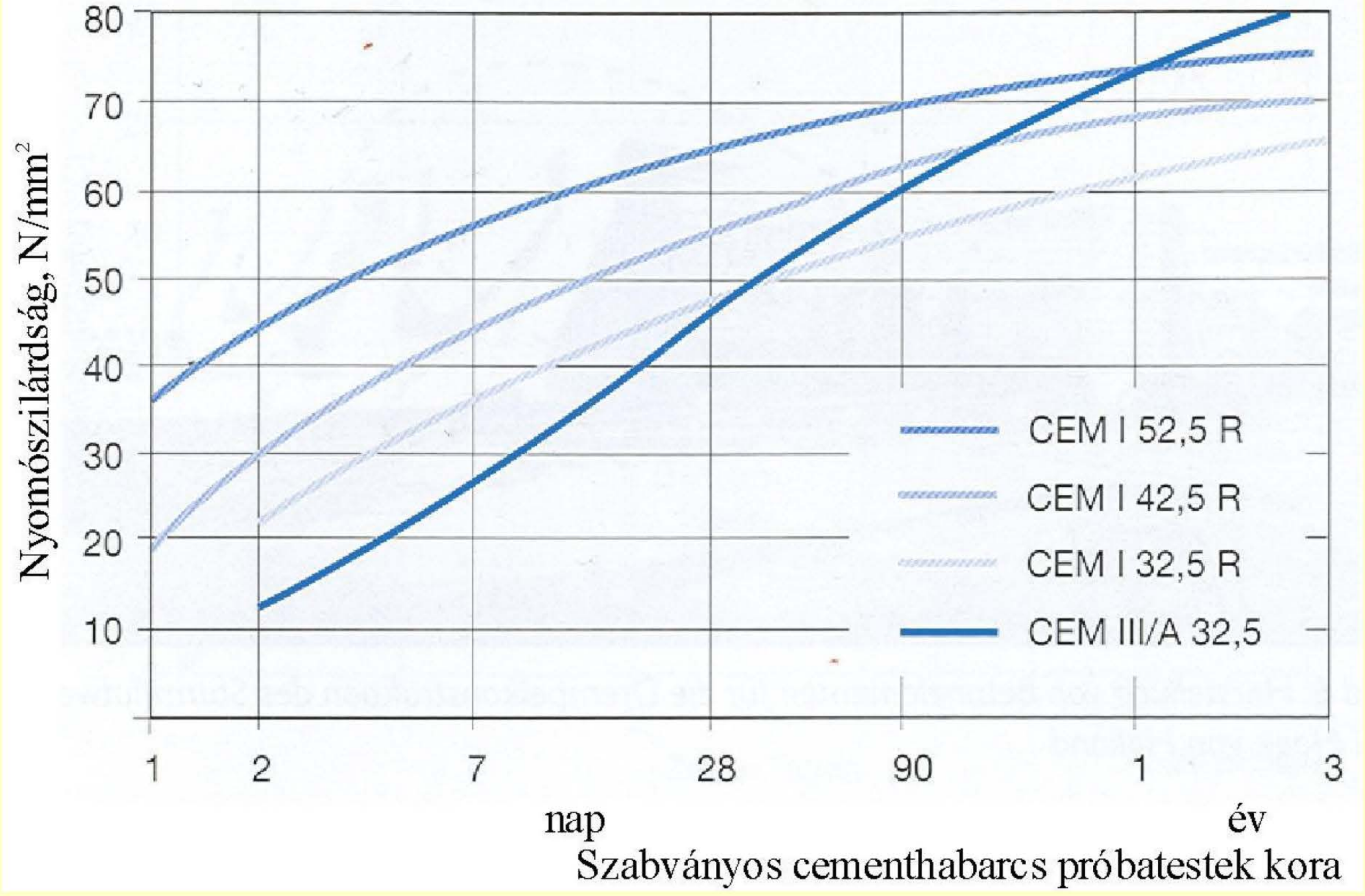
- ha az adott építmény esetén felelősséggel és írásban bizonyítják, hogy az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti hatásoknak – a tervezési élettartam alatt – ellenálló beton készítéséhez elegendő, akkor az erőtani számítás szerint szükséges nyomószilárdsági osztályt lehet mértékadónak tekinteni.

Ennek az esetnek jellegzetes példáját jellegzetes példáját adhatja a CEM III jelű kohósalakcement (MSZ EN 197-1:2011) alkalmazása.

A CEM III/A kohósalakcement utószilárdulása 90 napos korig a 28 napos nyomószilárdságnak általában a 30-40 %-át, a CEM III/B kohósalakcementé pedig a 20-25 %-át teszi ki. Ezért feltételezhető, hogy az adalékszerrel nem gyorsított kötésű és szilárdulású, CEM III kohósalakcementtel gondosan készített és utókezelt beton nyomószilárdsági osztálya 90 napos korra eléri a környezeti feltételek alapján az MSZ 4798-1:2004 szabványban ajánlott legkisebb nyomószilárdsági osztályt.

Nem kizárt tehát, hogy bizonyítható: CEM III N (normál kezdőszilárdságú) vagy L (kis kezdőszilárdságú) kohósalakcement alkalmazása esetén az erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges – a környezeti osztály nyomószilárdsági követelményénél kisebb – 28 napos korra vonatkozó nyomószilárdsági osztály elegendő a környezeti hatásoknak a tervezési élettartam alatt ellenálló beton készítéséhez.

Lásd a következő ábrát.



Cementek szilárdulási folyamata (Forrás: *Rendchen, K.*: Hüttensandhaltiger Zement. Verlag Bau+Technik. Düsseldorf, 2002.)

Ezzel összefüggésben megemlítendő a DIN 1045-2:2008 szabvány F.2.1 táblázatának egyes környezeti osztályokhoz tartozó lábjegyzete:

d) Bei Verwendung von Luftporenbeton, z. B. aufgrund gleichzeitiger Anforderungen aus der Expositionsklasse XF, eine Festigkeitsklasse niedriger. In diesem Fall darf Fußnote e nicht angewendet werden.

e) Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen (r < 0,30 lásd a következő diakockán) eine Festigkeitsklasse niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse nach 4.3.1 ist auch in diesem Fall an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen. In diesem Fall darf Fußnote d) nicht angewendet werden.

MSZ 4798:2016 szabvány

16. táblázat: A beton szilárdságának alakulása 20 °C-on

A szilárdulási ütem	Nyomószilárdság aránya $r = f_{cm,2} / f_{cm,28}$
Gyors	≥ 0,5
Közepes	≥ 0,3-tól < 0,5-ig
Lassú	≥ 0,15-től < 0,3-ig
Nagyon lassú	< 0,15

Az építési célnak — beleértve a tartósságot is — csak a kellően bedolgozott, megkövetelt tömörségű, zárványmentes beton felel meg, ezért a bedolgozott friss beton levegőtartalmát korlátozni kell.

Az MSZ 4798:2016 szabvány szerint a friss beton levegőtartalmának tervezési értéke a következő:

MSZ 4798:2016 NAD F2. táblázat: A légbuborékképző adalékszer nélkül készített friss beton tervezett levegőtartalmának értéke a nyomószilárdsági osztály és a konzisztencia osztály függvényében

A beton konzisztencia osztálya				
Roskadási osztály	–	S1	S2, S3	S4, S5
Tömörítési osztály	C1	C2	C3	C4
Terülési osztály	F1	F2	F3	F4, F5, F6
Beton nyomó-szilárdsági osztálya	Friss beton tervezett levegőtartalma, legfeljebb, térfogat%			
C8/10	5,0	4,0	3,0	2,0
C12/15	4,0	3,0	2,0	1,5
C16/20	3,5	2,5	1,5	1,0
C20/25	3,0	2,0	1,0	1,0
C25/30	2,0	1,5	1,0	1,0
C30/37	1,5	1,0	1,0	1,0
C35/45 – C100/115	1,0	1,0	1,0	1,0

MSZ 4798:2016 NAD F3. táblázat: A légbuborékképző adalékszerrel készített friss beton előírt összes, átlagos levegő-tartalmának (légpórus + légbuborék) értéke az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának a függvényében

Környezeti osztály	XF2 és XF3	XF4
Legnagyobb szemnagyság mm	A friss beton összes levegőtartalma (légpórus + légbuborékképző adalékszerrel bevitt légbuborék), térfogat%	
8 és 12	4,0 – 6,0	6,0 – 10,0
16	3,0 – 5,0	4,5 – 8,5
24 és 32	2,5 – 5,0	4,0 – 8,0
63	2,0 – 4,0	3,0 – 7,0
	A kötőanyagpép összes, átlagos levegőtartalma (légpórus + légbuborékképző adalékszerrel bevitt légbuborék), legalább, térfogat%	
	15,0	18,0
MEGJEGYZÉS: Az XF4 környezeti osztályú kopásálló betonok esetén a levegőtartalom alsó határértékei 0,5 térfogatszázalékkal csökkenthetők, de a betonok a fagy- és olvasztósó-állósági követelményeknek feleljenek meg.		

A beton tényleges levegőtartalmának nem szabad a tervezett levegőtartalomnál nagyobbnak, fagyálló, vagy fagy- és olvasztósó-álló beton esetén kisebbnek lennie, illetve ezt a követelményt az előírt megengedett tűréssel kell teljesítenie.

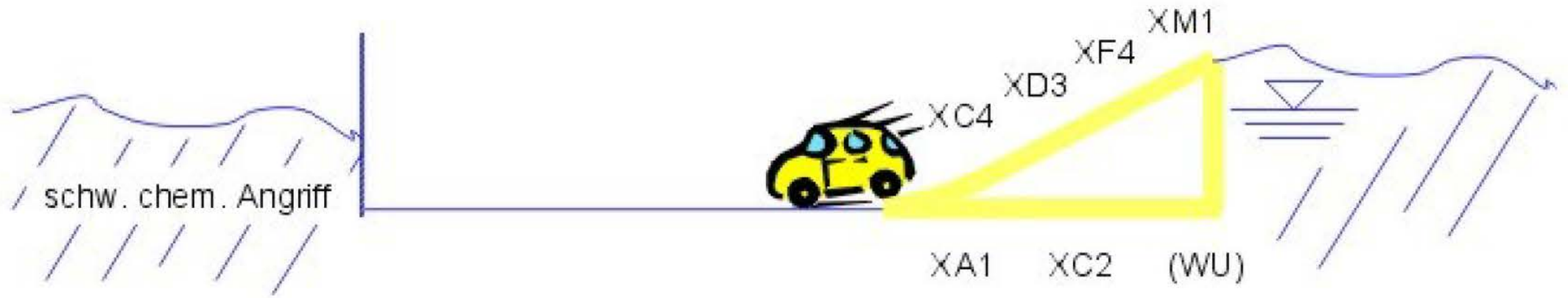
Ha az adott keverék esetén az alkalmazott tömörítéssel ez feltétel nem teljesíthető, akkor vagy a tömörítés módját kell megváltoztatni vagy a betonösszetételt kell áttervezni.

Ha a betont több féle környezeti hatás éri, akkor e hatásokat a környezeti osztályok kombinációjaként kell kifejezni.

Ebben az esetben olyan betont kell tervezni és készíteni, amelynek összetétele és tulajdonságai a szóban forgó, társított környezeti osztályok mindegyikének követelményét kielégíti.

Ha a környezeti hatások egyike fagy-, illetve fagy- és olvasztósó hatás, és a beton légbuborékképző adalékszerrel készül, akkor a friss beton átlagos levegőtartalma a fagy-, illetve fagy- és olvasztósóálló beton előírt összes levegőtartalmának (légpórus + légbuborékképző adalékszerrel bevitt légbuborék) feleljen meg.

Beispiel
Grenzwerte der Zusammensetzung für den Beton der Rampe



Rampe

		Zementgehalt [kg/m³] mit Typ II	w/z-Wert	Festigkeit
Außenbauteil, bewehrt	XC4 (oben)	280	0,60	C25/30
Chloridangriff, ohne Frost	XD3 (oben)	320	0,45	C35/45
Frost-Taumittelangriff, horizontale Fläche	XF4 (oben)	320	0,50	C30/37
Mäßige Verschleißbeanspruchung	XM1 (oben)	300	0,55	C30/37
Schwacher chemischer Angriff	XA1 (unten)	280	0,60	C25/30
Gründungsbauteil, nass selten trocken	XC2 (unten)	240	0,75	C16/20
Hoher Wassereindringwiderstand für h > 0,40 m	(WU)	-	0,70	-

Mindestanforderungen an die Betonzusammensetzung		Zementgehalt mit Typ II	w/z-Wert	Festigkeit
	LP-Beton	320	320	0,45	C30/37

Teil der Festlegung	Stahlbeton C30/37	XC4, XD3, XF4, XM1, XA1 (WU)

Kausay

MSZ 4798:2016 NAD F4. táblázat: Példa a környezeti osztályok társítására (kombinációjára)

Környezeti osztály	Beton nyomó-szilárdsági osztálya, legalább	Beton cement-tartalma, legalább, kg/m3	Beton víz-cement tényezője, legfeljebb	Friss beton átlagos összes levegő-tartalma, térfogat%
XC4 – XF1 – XA2 – XV1(H) környezeti osztályú vasbeton támfal betonja				
XC4	C30/37	300	0,50	NAD F2. táblázat szerint
XF1	C30/37	300	0,55	
XA2	C30/37	320	0,50	
XV1(H)	C25/30	300	0,55	
XC4 – XF1 – XA2 – XV1(H)	C30/37	320	0,50	
XC4 – XF4 – XK3(H) környezeti osztályú, 32 mm legnagyobb szemnagyságú adalékanyaggal készített fagy- és olvasztósó- és kopásálló beton				
XC4	C30/37	300	0,50	NAD F2. táblázat szerint
XK3(H)	C40/50	350	0,40	
XF4	C30/37	340	0,45	NAD F3. táblázat szerint
XC4 – XF4 – XK3(H)	C40/50	350	0,40	

Az MSZ EN 206: 2013+A1:2017 európai betonszabvány eredetileg hat környezeti osztály csoportot tartalmaz, *az MSZ 4798:2016 ezeken kívül még néggyel számol*:

1. **Nincs korróziós kockázat;**
2. **Karbonátosodás okozta korrózió;**
3. **Nem tengervízből származó kloridok korróziós hatása;**
4. **Tengervízből származó kloridok hatása;**
5. **Fagyás/olvadás okozta korrózió, ugyanez *Lb-képző nélküli beton esetén*;**

6.1. Talajvíz és talaj okozta korrózió;

6.2. Egyéb kémiai okozta korrózió;

7. Koptatóhatás okozta károsodás;

8. Igénybevétel víznyomás hatására.

Környezeti osztályok kiterjesztése

<table>
<tr><td rowspan="2">Csak beton</td><td rowspan="2">Környezeti hatásoknak nem ellenálló beton</td><td>XN(H), X0b(H), XV1(H)</td></tr>
<tr><td>X0v(H)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Csak vasbeton és feszített vasbeton betonjára vonatkozó környezeti osztályok</td><td>Karbonátosodás</td><td>XC1 – XC4</td></tr>
<tr><td>Kloridoknak (nem jégolvasztó) kitett beton</td><td>XD1 – XD3
XS1 –XS3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Beton, vasbeton és feszített vasbeton betonjára egyaránt vonatkozó környezeti osztályok</td><td>Fagyálló beton</td><td>XF1 LP-képző nélkül
XF2 –XF4 LP-képzővel
XF2(H) – XF4(H)
LP-képző nélkül
(légbuborékképző nélkül)</td></tr>
<tr><td>Korrózionak kitett beton</td><td>XA1 – XA3
XA4(H) – XA6(H)</td></tr>
<tr><td>Kopásálló beton</td><td>XK1(H) – XK4(H)</td></tr>
<tr><td>Vízzáró beton</td><td>XV2(H) – XV3(H)
Vízzáró feszített vasbeton csak XV3(H) környezeti osztályú [vz20(H) jelű] betonból készíthető.</td></tr>
</table>

Kausay

MSZ 4798:2016 szabvány 1. táblázat: Környezeti osztályok

Az osztály jele	A környezeti hatás leírása	Tájékoztató példák a környezeti osztályok előfordulására
1. Nincs korróziós vagy kimaródási kockázat		
X0	Vasalás vagy más beágyazott fém nélküli beton esetén: valamennyi környezeti körülmény, kivéve azokat, amelyek esetén fagyás/olvadás, koptatás vagy kémiai korrózió fordul elő. Vasbeton vagy beágyazott fémet tartalmazó betonok esetén: nagyon száraz *környezetben*.	Nagyon kis relatív páratartalmú *(< 35%)* épületben *(környezetben)* levő *beton vagy beágyazott fémet tartalmazó* beton

MSZ 4798:2016 szabvány 1. táblázat: Környezeti osztályok

XN(H)	*Káros környezeti hatás nem éri a szilárdsági szempontból alárendelt jelentőségű betont*	*Alárendelt szilárdságú aljzatbeton, beton alapréteg, cement-stabilizáció*
X0b(H)	*Káros környezeti hatás nem éri a betont*	*Alapbeton, kitöltő és kiegyenlítő beton, hátbeton, kézi falazóelem*
X0v(H)	*Karbonátosodáson kívül egyéb káros környezeti hatás nem éri a vasalt betont*	*Vasalt (nem vasbeton) térhatároló beton*

MSZ 4798:2016 NAD F1. táblázat:
Határértékek a beton összetételére és tulajdonságaira

Alkalmazási terület	Környezeti osztály jele	Beton nyomó-szilárdsági osztálya legalább	Beton cement-tartalma legalább kg/m^3	Beton víz-cement-tényezője legfeljebb
1.1. Környezeti hatásoknak ki nem tett beton szerkezetek, általában legfeljebb 35% relatív páratartalmú helyen				
Környezeti hatásoknak (nedvesség, karbonátosodás, kloridhatás, fagyás/olvadás, kémiai korrózió, koptatóhatás vagy víznyomás) nem ellenálló, szilárdsági szempontból alárendelt jelentőségű beton	XN(H)	C8/10	165	0,90
Környezeti hatásoknak (nedvesség, karbonátosodás, kloridhatás, fagyás/olvadás, kémiai korrózió, koptatóhatás vagy víznyomás) nem ellenálló beton	X0b(H)	C12/15	230	0,75
1.2. Környezeti hatásoknak ki nem tett vasalt beton szerkezetek				
Környezeti hatásoknak (nedvesség, karbonátosodás, kloridhatás, fagyás/olvadás, kémiai korrózió, koptatóhatás vagy víznyomás) nem ellenálló vasalt beton	X0v(H)	C16/20	250	0,70

MSZ 4798:2016 szabvány 1. táblázat: Környezeti osztályok

2. Acélbetétkorrózió karbonátosodás következtében		
Amikor a vasbetont vagy más, beágyazott fémet tartalmazó betont levegő és nedvesség éri, akkor a környezeti hatásokat a következők szerint kell osztályozni:		
XC1	Száraz vagy tartósan nedves	Kis relatív páratartalmú épületben levő beton; Állandóan víz alatt levő beton
XC2	Nedves, ritkán száraz	Hosszú időn át vízzel érintkező betonfelületek; A legtöbb alapozás
XC3	Mérsékelt nedvesség	Mérsékelt vagy nagy relatív páratartalmú épületekben levő beton. Esőtől védett, szabadban lévő beton
XC4	Váltakozva nedves és száraz	Vízzel érintkező betonfelületek, amelyek nem tartoznak az XC2 osztályba.

MSZ 4798.2016 F1. táblázat: Határértékek a beton összetételére és tulajdonságaira Alkalmazási terület	Környe-zeti osztály jele	Beton nyomó-szilárd-sági osztálya legalább	Beton cement-tartalma legalább kg/m^3	Beton víz-cement tényező-je legfel-jebb
2. Karbonátosodás okozta korrózió				
Száraz, vagy tartósan nedves helyen, állandóan víz alatt	XC1	C20/25	260	0,65
Nedves, ritkán száraz helyen (épület alapok)	XC2	C25/30	280	0,60
Mérsékelten nedves helyen, nagy relatív páratartalmú épületben, vagy a szabadban, esőtől védett helyen	XC3	C30/37	280	0,55
Váltakozva nedves és száraz, víznek kitett helyen	XC4	C30/37	300	0,50

Az acélbetét korróziójának három környezeti feltétele van:

a.) nedvesség jelenléte

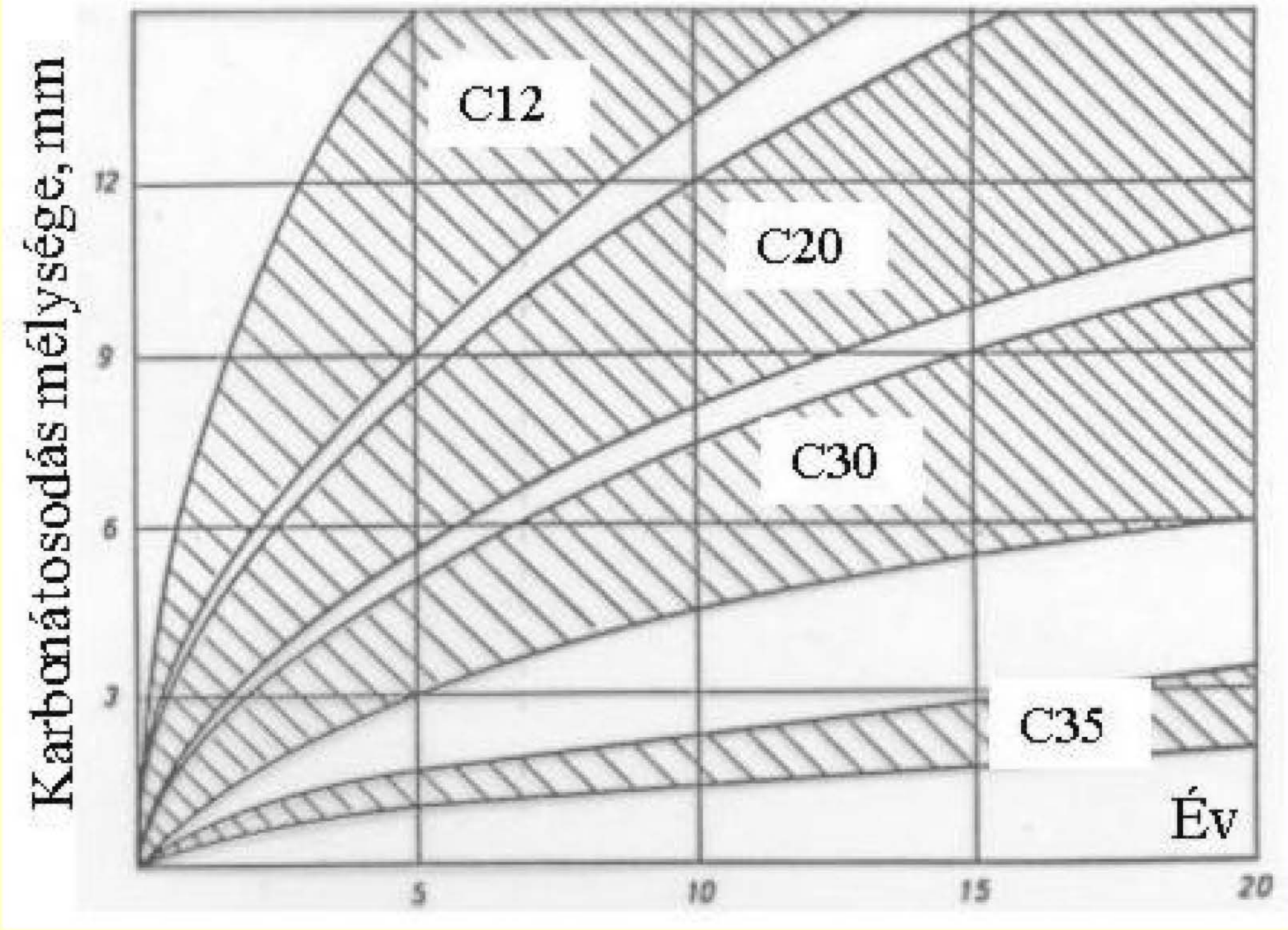
b.) oxigénnek az acélbetéthez jutása

c.) a beton lúgosságának megszűnése

Karbonátosodás:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$$

Ezek kialakulását a betonfedés tömörsége és vastagsága is befolyásolja.



Karbonátosodás mélysége az idő és a nyomószilárdsági osztály függvényében

Forrás: http://www.fh.campuswien.ac.at/bau@home/bausanierung/daten/4_5_3.htm

Az előírt <u>névleges betonfedés</u> (c_{nom})
az előírt <u>legkisebb betonfedésnek</u>
(c_{min})
a <u>kötelező ráhagyással</u> (Δc_{dev})
megnövelt, előírt értéke:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \text{ [mm]}$$

Az előírt névleges betonfedést (c_{nom}) kell a statikai számításokban alkalmazni, és a szerkezeti terveken bejelölni.

c_{nom}

Δc_{dev}

c_{min}

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Karbonátosodás, fagyás, jégolvasztó sózás hatására károsodott aluljáró födém

Szerkezeti osztály

Az építmények szerkezeti osztálya az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakasza szerinti fogalom. A szerkezeti osztályok tulajdonképpen tartalom nélküliek, a beton fedés szükséges mértékéről adnak tájékoztatást, ami pedig kihat többek között az adalékanyag névleges legnagyobb szemnagyságának megengedhető mértékére.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 4.4.1.2. szakaszának 4.4.N és 4.5.N táblázata hat szerkezeti osztályt tartalmaz (jelük: S1-S6.) A szabvány 4.4.1.2. szakasza (5) bekezdésének megjegyzése az 50 év tervezési élettartamú és a szabvány E. mellékletében (E1N táblázat) szereplő környezeti osztályokhoz tartozó nyomószilárdsági osztályú betonokat az S4 szerkezeti osztályba javasolja sorolni.

Ha a *minőségellenőrzés nem kiemelt szintű,* akkor a következő szerkezeti osztályt, illetve betonfedést kell alkalmazni:

Tervezési élettartam	Szerkezeti osztály valamennyi környezeti osztályban, ha a minőségellenőrzés *nem* kiemelt szintű
< 50 év	S3
50 év	S4
100 év	S6

Ha a *minőségellenőrzés kiemelt szintű,* akkor a következő szerkezeti osztályt, illetve betonfedést kell alkalmazni:

Tervezési élettartam	Szerkezeti osztály valamennyi környezeti osztályban, ha a minőségellenőrzés kiemelt szintű
< 50 év	S2
50 év	S3
100 év	S5

Környezeti osztály Tervezési élettartam 50 év, a minőségellenőrzés kiemelt szintű	Környezeti hatások miatt szükséges előírt legkisebb betonfedés S3 szerkezeti osztályban $c_{min,dur}$, mm	
	Betonacél	Feszítőbetét
X0, X0v(H)	10	10
XC1	10	20
XV0(H), XC2, XC3	20	30
XC4, *XF1, XV3(H)*	25	35
XD1, XS1, *XF2 XF3 , XA1, XK1(H)*	30	40
XD2, XS2, *XF2(H), XF3(H), XF4, XA2, XA4(H), XK2(H)*	35	45
XD3, XS3, *XF4(H), XA3, XA5(H), XV2(H), XK3(H)*	40	50
XA6(H), XK4(H)	45	55

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány csak a fekete álló betűvel környezeti osztályokat tartalmazza.

Környezeti osztály Tervezési élettartam **50 év**, a minőségellenőrzés *nem* kiemelt szintű	Környezeti hatások miatt szükséges előírt legkisebb betonfedés **S4** szerkezeti osztályban $c_{min,dur}$, mm	
	Betonacél	Feszítőbetét
X0, X0v(H)	10	10
XC1	15	25
XV0(H), XC2, XC3	25	35
XC4, *XF1, XV3(H)*	30	40
XD1, XS1, *XF2 XF3 , XA1, XK1(H)*	35	45
XD2, XS2, *XF2(H), XF3(H), XF4, XA2, XA4(H), XK2(H)*	40	50
XD3, XS3, *XF4(H), XA3, XA5(H), XV2(H), XK3(H)*	45	55
XA6(H), XK4(H)	50	60

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány csak a fekete álló betűvel környezeti osztályokat tartalmazza.

Környezeti osztály Tervezési élettartam 100 év, a minőségellenőrzés kiemelt szintű	Környezeti hatások miatt szükséges előírt legkisebb betonfedés S5 szerkezeti osztályban $c_{min,dur}$, mm	
	Betonacél	Feszítőbetét
X0, X0v(H)	15	15
XC1	20	30
XV0(H), XC2, XC3	30	40
XC4, *XF1, XV3(H)*	35	45
XD1, XS1, *XF2 XF3 , XA1, XK1(H)*	40	50
XD2, XS2, *XF2(H), XF3(H), XF4, XA2, XA4(H), XK2(H)*	45	55
XD3, XS3, *XF4(H), XA3, XA5(H), XV2(H), XK3(H)*	50	60
XA6(H), XK4(H)	55	65
Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány csak a fekete álló betűvel környezeti osztályokat tartalmazza.		

Környezeti osztály Tervezési élettartam 100 év, a minőségellenőrzés *nem* kiemelt szintű	Környezeti hatások miatt szükséges előírt legkisebb betonfedés S6 szerkezeti osztályban $c_{min,dur}$, mm	
	Betonacél	Feszítőbetét
X0, X0v(H)	20	20
XC1	25	35
XV0(H), XC2, XC3	35	45
XC4, *XF1, XV3(H)*	40	50
XD1, XS1, *XF2 , XF3, XA1, XK1(H)*	45	55
XD2, XS2, *XF2(H), XF3(H), XF4, XA2, XA4(H), XK2(H)*	50	60
XD3, XS3, *XF4(H), XA3, XA5(H), XV2(H), XK3(H)*	55	65
XA6(H), XK4(H)	60	70

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány csak a fekete álló betűvel környezeti osztályokat tartalmazza.

MSZ 4798:2016 szabvány 1. táblázat: Környezeti osztályok

3. Acélbetétkorrózió a nem tengervízből származó kloridok hatására		
Amikor a vasbeton vagy más beágyazott fémet tartalmazó beton kloridtartalmú víz éri, beleértve a jégolvasztó sózást és amely nem tengervízből származik, akkor a környezeti hatást a következők szerint kell osztályozni:		
XD1	Mérsékelt nedvesség	Levegő által szállított kloriddal (sópárával) érintkező beton.
XD2	Nedves, ritkán száraz	Úszómedencék. Kloridot tartalmazó talaj- és ipari vizekkel érintkező beton.
XD3	Váltakozva nedves és száraz	Kloridtartalmú vízpermettel érintkező hídelemek. Járdák és útburkolatok. Autóparkolók födémei.
Megjegyzés: Az MSZ 4798:2016 szabvány szerint azokat a betonokat, amelyeket a nem tengervízből származó sók hatásán kívül fagy is éri, az XD1 – XD3 környezeti osztályok helyett az XF2, XF2(H), XF4, XF4(H) környezeti osztályok valamelyikébe kell sorolni.		

MSZ 4798.2016 F1. táblázat: Határértékek a beton összetételére és tulajdonságaira Alkalmazási terület	Környe-zeti osztály jele	Beton nyomó-szilárd-sági osztálya legalább	Beton cement-tartalma legalább kg/m^3	Beton víz-cement tényezője legfeljebb
3. Kloridoknak ellenálló beton és vasbeton szerkezetek				
Mérsékelten nedves helyen, levegőből származó kloridokkal (sópárával) érintkezőt, de jégolvasztó sóknak ki nem tett, korrózióálló beton	XD1	C30/37	300	0,55
Nedves, ritkán száraz helyen, vízben lévő kloridoknak kitett, de jégolvasztó sóknak ki nem tett, korrózióálló beton (úszómedencék, talajvizek, ipari vizek hatása)	XD2	C35/45	320	0,50
Váltakozva nedves és száraz helyen, jégolvasztó kloridok permetének kitett korrózióálló beton (hídelemek, járdák, útburkolatok, autóparkolók födémei)	XD3	C35/45	320	0,45
4. Tengervízből származó klorid által okozott korrózió ***MEGJEGYZÉS: Magyarországon csak különleges esetben használatos környezeti osztály***				

MSZ 4798.2016 szabvány megjegyzése az XD2 környezeti osztályhoz

Az agresszív vízzel (talajvízzel, egyéb természetes vízzel, szennyvízzel vagy egyéb agresszív folyadékkal) érintkező vasbeton vagy feszített vasbeton szerkezet betonját akkor kell XD2 környezeti osztályba sorolni, ha az agresszív víz kloridtartalma Cl^- > 500 mg/l.

A talajvíz és természetes víz kloridtartalmát az MSZ 18094-11:1979 szerint, a szennyvizek és egyéb agresszív vizek kloridtartalmát az MSZ 260-6:1977 vagy az MSZ EN ISO 10304-1:2009 szabvány szerint kell meghatározni.

Hivatkozott szabványok:

MSZ 18094-11:1979 Talajkorróziós vizsgálatok. A talaj és a talajvíz klorid-ion tartalmának meghatározása

MSZ 260-6:1977 Szennyvizek vizsgálata. Kloridion meghatározása. **Visszavont szabvány**

MSZ EN ISO 10304-1:2009 Vízminőség. Az oldott anionok meghatározása ionkromatográfiával. 1. rész: A bromid, a klorid, a fluorid, a nitrát, a nitrit, a foszfát és a szulfát meghatározása

Magyarázat a következő diakockán

Az ivóvíz kloridtartalmának határéke a 201/2001.(X.25.) Korm. rendeletben 250 mg/l.

Ha a víz kloridtartalma Cl^- > 500 mg/l (ez Svájcban az XD2b környezeti osztály feltétele), akkor a SIA 262:2013 „Betonbau" svájci szabvány és a Cemsuisse-Merkblatt MB 02:2016 svájci műszaki irányelv vasbeton esetén 55 mm, feszített vasbeton esetén 65 mm névleges betonfedést alkalmaz, amely 5 mm-rel több az MSZ 4798:2016 szerinti XD2 környezeti osztályhoz tartozó névleges betonfedésnél. A svájci szabvány az XD2b környezeti osztályban alkalmazandó cementekről tudomásunk szerint nem szól, csak a betonfedést szabályozza.

A California Department of Transportation Division of Engineering Services Materials Engineering and Testing Services mérnökszolgálat a „Corrosion and Structural Concrete Field Investigation Branch a Corrosion Guidelines Version 2.1 January 2015" irányelvben ezt írja: „For structural elements, the Department considers a site to be corrosive if one or more of the following conditions exist for the representative soil and/or water samples taken at the site: Chloride concentration is *500 ppm or greater…*"

azaz Kaliforniában az 500 mg/l vagy ennél nagyobb kloridtartalmú talajokat és talajvizeket tartják a betonra nézve korrozív hatásúnak.

Környezeti osztály	Meghatározó agresszív hatóanyagok	Környezeti hatás következménye	Várhatóan a legjobb	Várhatóan jó	Esetleg még jó	Rossz
XD1	Kloridok	Acélbetét lyukkorrózióját	CEM III/B	CEM I + 11% D, CEM I + 20% V, CEM II/B-V, CEM II/B-M(S-V), CEM II/B-S + 11% D, CEM III/A	CEM II/B-S	CEM I kiegészítőanyag nélkül, CEM II/A, CEM II-LL, CEM II-M (S-LL), CEM II-M (V-LL)
XD2			CEM III/B	CEM II/B-V+ 11% D	CEM III/A	CEM I, CEM II/A, CEM II/B kiegészítőanyag nélkül, CEM II-LL, CEM II-M (S-LL), CEM II-M (V-LL)
XD3			CEM III/B	CEM II/B-V + 11% D, CEM III/A	CEM I + 11% D, CEM I + 20% V, CEM II/B-S + 11% D, CEM II/B-V, CEM II/B-M(S-V)	CEM I kiegészítőanyag nélkül, CEM II/A, CEM II-LL, CEM II-M (S-LL), CEM II-M (V-LL)

Ajánlás kötőanyagok alkalmazására

Kör-nye-zeti osz-tály	Megha-tározó agresz-szív ható-anyagok	Környezeti hatás következ-ménye		Várhatóan a legjobb	Várhatóan jó	Esetleg még jó	Rossz
XD1	Kloridok és szulfátok	Acélbetét és beton	Lyukkorrózió és duzzadás	CEM I-SR 0 + 20% V	CEM I-SR 5 + 11% D, CEM I-SR 5 + 20% V, CEM II/B-V-MSR, CEM II/B-S-MSR + 11% D, CEM II/B-M(S-V)-MSR, CEM III/A-MSR	CEM II/B-S-MSR	CEM I, ha nem SR és kiegészítőanyag nélkül; CEM II/A; CEM II/B, ha nem MSR
XD2				CEM I-SR 0 + 20% V	CEM I-SR 0 + 11% D, CEM I-SR 0 + 20% V	CEM I-SR 3 + 11% D, CEM I-SR 3 + 20% V, CEM III/B-SR	CEM I, ha nem SR és kiegészítőanyag nélkül; CEM II; CEM III/A
XD3				CEM I-SR 0 + 20% V	CEM I-SR 3 + 11% D, CEM I-SR 3 + 20% V, CEM II/B-V-MSR + 11% D, CEM III/B-SR	CEM I-SR 5 + 11% D, CEM I-SR 5 + 20% V, CEM II/B-V-MSR, CEM II/B-S-MSR + 11% D, CEM II/B-M(S-V)-MSR, CEM III/A-MSR	CEM I, ha nem SR és kiegészítőanyag nélkül; CEM II/A; CEM II/B, ha nem MSR

A fenti táblázatban szereplő valamennyi cement feleljen meg az MSZ EN 197-1:2011 szabvány követelményének, az MSR jelű mérsékelten szulfátálló cementek elégítsék ki az MSZ 4737-1:2013 szabvány követelményeit is.

A CEM III/A mérsékelten szulfátálló kohósalakcement jelében nem feltétlenül szerepel az MSR jel, a CEM III/B szulfátálló kohósalakcement jelében nem feltétlenül szerepel az SR jel.

A cement mellé külön adagolható kiegészítőanyag (*K*) e táblázatban szereplő legnagyobb mennyisége (*K*C%) a *cementtartalomra (C) vonatkoztatott* megengedett legnagyobb kiegészítőanyag adagolási érték (*K*C% = 100×*K*/*C*).

A külön adagolható kiegészítőanyag-tartalomnak a *kötőanyag-tartalomra (C+K) vonatkoztatott* %-os értéke: *K*(C+K)% = 100×*K*C/(*K*C + 1) összefüggéssel határozható meg.

Kiegészítőanyagok jelölése:

D = Szilikapor LL = Mészkőliszt
Mk = „A" típusú metakaolin S = Granulált kohósalak
V = Savanyú pernye

Aluminát-modulus, amely a szulfátálló és a mérsékelten szulfátálló cementek jellemzője:

Az aluminát-modulus a cementklinker alumínium-oxid és vas-oxid összetevőinek hányadosa, tömegarány,

$$AM = Al_2O_3/Fe_2O_3,$$

amelynek csökkenésével a cement szulfátállósága nő, másodlagos ettringit képződési hajlama és szulfátduzzadás okozta hosszváltozása csökken.

Az MSZ 4737-1:2013 szabvány szerint a szulfátálló cementek aluminát-modulusa legfeljebb 0,7, a mérsékelten szulfátálló cementeké legfeljebb 1,0; a szulfátálló cementek szulfátduzzadás okozta hosszváltozása legfeljebb 0,4 mm/m, a mérsékelten szulfátálló cementeké legfeljebb 1,0 mm/m.

A szulfátálló cementek első kutatói között tartjuk számon *Henry Le Chatelier* (1850, Párizs – 1936, Miribel-les-Échelles, Isére) francia kémikust.

FAGYÁLLÓSÁG

Fagyálló, ill. fagy- és olvasztósó-álló betonok környezeti osztályai

Környezeti osztály	Olvasztósó hatás éri a betont	A beton felülete	Légbuborék-képző szerrel készül a beton
XF1	Nem	Függőleges	Nem
XF2	Igen	Függőleges	Igen
XF3	Nem	Vízszintes	Igen
XF4	Igen	Vízszintes	Igen
XF2(H)	Igen	Függőleges	Nem
XF3(H)	Nem	Vízszintes	Nem
XF4(H)	Igen	Vízszintes	Nem

MSZ 4798:2016 szabvány 1. táblázat: Környezeti osztályok

5. Fagyási/olvadási korrózió jégolvasztó anyaggal vagy anélkül		
Amikor a beton a fagyási/olvadási ciklusok által okozott jelentős igénybevétel éri nedves állapotban, akkor az igénybevételt a következőképpen kell osztályozni:		
XF1	Mérsékelt víztelítettség, jégolvasztó anyag nélkül	Függőleges vagy *5%-nál meredekebb* betonfelületek, melyeket csapadék és fagy ér. *Például homlokzatok, szabadban álló ipari, vagy mezőgazdasági építmények, tornyok.*
XF2	Mérsékelt víztelítettség jégolvasztó anyaggal	Útépítési szerkezetek függőleges betonfelületei, amelyeket fagy és jégolvasztó só permete ér. *Légbuborékképző adalékszerrel készített, függőleges vagy 5%-nál meredekebb közlekedési és egyéb betonfelületek, amelyeket fagy és sós víz permete ér.*
XF2(H) Kausay	*Mérsékelt víztelítettség jégolvasztó anyaggal*	*Légbuborékképző adalékszer nélkül készített, függőleges vagy 5%-nál meredekebb felületű előre gyártott elemek, valamint hidak 5%-nál meredekebb felületű monolit és előre gyártott szerkezetei, amelyeket fagy és sós víz permete ér.*

A betonutak és más betonfelületek emelkedését, illetve lejtését az emelkedő, illetve lejtő magassága és alaphossza hányadosának százszorosával, %-ban fejezik ki. Az emelkedő, illetve lejtő magasságának és alaphosszának hányadosa az emelkedő, illetve lejtő hajlásszögének tangense.

Ha például egy betonút 100 méter alaphosszon 20 métert emelkedik, illetve lejt, akkor az út emelkedése, illetve lejtése 20%, és az út hajlásszöge arctan(20/100) = 11,3°.

A betonutak és más szabadban lévő betonfelületek fagyállósági, illetve fagy- és olvasztósó-állósági osztályba sorolásakor az 5%-os emelkedést, illetve lejtést tekintik határértéknek.

MSZ 4798:2016 szabvány F1. táblázat: Környezeti osztályok

5.1. Függőleges felületű fagyálló beton és vasbeton szerkezetek					
Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli fagyálló beton	**XF1**	**C30/37**	**300**	**0,55**	***Légbuborék-képző adalékszer nélkül készül a beton.***
	MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szerinti kielégítő fagyás/olvadás állóságú adalékanyagot kell alkalmazni (lásd a NAD E1. és NAD 2. táblázatot).				
Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sók permetének kitett fagyálló beton	**XF2**	**C25/30**	**300**	**0,55**	***A friss beton összes levegőtartalma (légpórus + légbuborék) a NAD F3. táblázat szerinti legyen.*** ***Légbuborék-képző adalékszerrel készül a beton.***
	MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szerinti kielégítő fagyás/olvadás állóságú adalékanyagot kell alkalmazni (lásd a NAD E1. és NAD 2. táblázatot).				

MSZ 4798.2016 NAD F1. táblázat: Határértékek a beton összetételére és tulajdonságaira Alkalmazási terület	Környe-zeti osztály jele	Beton nyomó-szilárdsági osztálya legalább	Beton cement-tartalma legalább kg/m³	Beton víz-cement tényezője legfeljebb
5.1. Függőleges felületű fagyálló beton és vasbeton szerkezetek				
Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sók permetének kitett fagyálló beton	***XF2(H)***	***C35/45***	***320***	***0,50***
A friss beton tervezett levegőtartalma (légpórus) a NAD F2. táblázat szerinti legyen. ***Légbuborék-képző adalékszer nélkül készül a beton.*** ***Alkalmazása út- és repülőtéri pályaburkolatok esetén tilos!*** ***Az adalékanyag fagyálló, illetve fagy- és olvasztósóálló legyen (lásd a NAD E1. és NAD E2. táblázatot)***				

MSZ 4798:2016 szabvány 1. táblázat: Környezeti osztályok

XF3	Nagymérvű víztelített-ség, jégolvasztó anyag nélkül	Vízszintes betonfelületek, amelyeket eső és fagyhatás ér. *Légbuborékképző adalékszerrel készített, vízszintes vagy legfeljebb 5%-os lejtésű betonfelületek, amelyeket fagy és csapadék vagy víz közvetlenül ér;* *A pályaburkolattól legfeljebb 10 méterre lévő vízszintes vagy legfeljebb 5%-os lejtésű betonfelületek, amelyeket a közlekedési felületről felfröccsenő víz vagy a közlekedési felületről származó víz permete ér.*
XF3(H)	*Nagymérvű víztelített-ség, jégolvasztó anyag nélkül*	*Légbuborékképző adalékszer nélkül készített, vízszintes vagy legfeljebb 5%-os lejtésű előre gyártott elemek, valamint hidak vízszintes vagy legfeljebb 5%-os lejtésű monolit és előre gyártott szerkezetei, amelyeket fagy és csapadék vagy víz közvetlenül ér.*

5.2. Vízszintes felületű fagyálló beton és vasbeton szerkezetek

<table>
<tr><td rowspan="2">F1. táblázat:
Vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli fagyálló beton</td><td>XF3</td><td>C30/37</td><td>320</td><td>0,50</td><td rowspan="2">A friss beton összes levegőtartalma (légpórus + légbuborék) a NAD F3. táblázat szerinti legyen.
Légbuborék-képző adalékszerrel készül a beton.</td></tr>
<tr><td colspan="4">MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szerinti kielégítő fagyás/olvadás állóságú adalékanyagot kell alkalmazni (lásd a NAD E1. és NAD 2. táblázatot).</td></tr>
<tr><td rowspan="2">NAD F1. táblázat:
Vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli fagyálló beton</td><td>XF3(H)</td><td>C40/50</td><td>340</td><td>0,45</td><td>A friss beton tervezett levegőtartalma (légpórus) a NAD F2. táblázat szerinti legyen.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Légbuborék-képző adalékszer nélkül készül a beton.
Alkalmazása út- és repülőtéri pályaburkolatok esetén tilos!
Az adalékanyag fagyálló, illetve fagy- és olvasztósóálló legyen (lásd a NAD E1. és NAD E2. táblázatot)</td></tr>
</table>

MSZ 4798:2016 szabvány 1. táblázat: Környezeti osztályok

XF4	Nagymérvű víztelítettség, jégolvasztó anyaggal vagy tengervízzel	**Út és hídpálya lemezek, amelyeket jégolvasztó só ér;** **Betonfelületek, amelyeket közvetlenül ér jégolvasztó só permete és fagy.** **Fagynak kitett tengeri szerkezetek felcsapódási zónája.** ***Légbuborékképző adalékszerrel készített, vízszintes vagy legfeljebb 5%-os lejtésű útburkolatok, valamint egyéb közlekedési és más felületek, továbbá hídpályalemezek és hídszegélygerendák, amelyeket fagy és csapadék, valamint jégolvasztó anyagok érnek;*** ***A pályaburkolattól legfeljebb 10 méterre lévő vízszintes vagy legfeljebb 5%-os lejtésű betonfelületek, amelyeket a közlekedési felületről felfröccsenő sós víz vagy a közlekedési felületről származó sós víz permete ér.***
XF4(H)	***Nagymérvű víztelítettség, jégolvasztó anyaggal vagy tengervízzel***	***Légbuborékképző adalékszer nélkül készített, vízszintes vagy legfeljebb 5%-os lejtésű előre gyártott elemek, valamint hidak vízszintes vagy legfeljebb 5%-os lejtésű monolit és előre gyártott szerkezetei, amelyeket fagy és csapadék, valamint jégolvasztó anyagok közvetlenül érnek.***

5.2. Vízszintes felületű fagyálló beton és vasbeton szerkezetek

<table>
<tr><td rowspan="2">F1. táblázat:
Vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sóknak közvetlenül kitett, fagyálló beton (útburkolatok, híd pályalemezek)</td><td>XF4</td><td>C30/37</td><td>340</td><td>0,45</td><td rowspan="2">A friss beton összes levegőtartalma (légpórus + légbuborék) a NAD F3. táblázat szerinti legyen.
Légbuborék-képző adalékszerrel készül a beton.</td></tr>
<tr><td colspan="4">MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szerinti kielégítő fagyás/olvadás állóságú adalékanyagot kell alkalmazni (lásd a NAD E1. és NAD 2. táblázatot).</td></tr>
<tr><td rowspan="2">NAD F1. táblázat:
Vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sóknak közvetlenül kitett, fagyálló beton (útburkolatok, híd pályalemezek)</td><td>XF4(H)</td><td>C30/37</td><td>340</td><td>0,45</td><td>A friss beton tervezett levegőtartalma (légpórus) a NAD F2. táblázat szerinti legyen.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Légbuborék-képző adalékszer nélkül készül a beton.
Alkalmazása út- és repülőtéri pályaburkolatok esetén tilos!
Az adalékanyag fagyálló, illetve fagy- és olvasztósóálló legyen (lásd a NAD E1. és NAD E2. táblázatot)</td></tr>
</table>

Felfagyott útbeton

Áttekintő táblázat: A fagy-, illetve fagy- és olvasztósóálló beton nyomószilárdsági osztályának és összetételének a környezeti osztálytól függő követelményei

	Légbuborékképző adalékszerrel készül			Légbuborékképző adalékszer nélkül készül			
Környezeti osztály jele	XF2	XF3	XF4	XF1	XF2(H)	XF3(H)	XF4(H)
Legkisebb nyomószilárdsági osztály	C25/30	C30/37			C35/45	C40/50	
Legnagyobb víz-cement tényező	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,40
Legkisebb cementtartalom, kg/m^3	300	320	340	300	320	340	360
Friss beton összes levegőtartalma, térfogat%	24-32 mm legnagyobb szemnagyság esetén			Legalább kissé képlékeny (S1, C2, F2) konzisztencia esetén			
	2,5-5,0		4,0-8,0	legfeljebb 1,0			
Friss kötőanyagpép összes levegőtartalma, legalább, térfogat%	15,0		18,0	–	–	–	–
Adalékanyag	Fagyálló, illetve fagy- és olvasztósóálló legyen						

MSZ EN 206:2014

3.1.3.5. képzett levegő

A keverés alatt a betonban szándékosan, rendszerint felületaktív anyagok alkalmazásával képzett *(pl. légbuborékképző adalékszerrel bevitt)* mikroszkopikus légbuborékok, amelyek gömb vagy közel gömb alakúak és átmérőjük jellegzetesen 10 µm és 300 µm között van.

MSZ 4798:2016

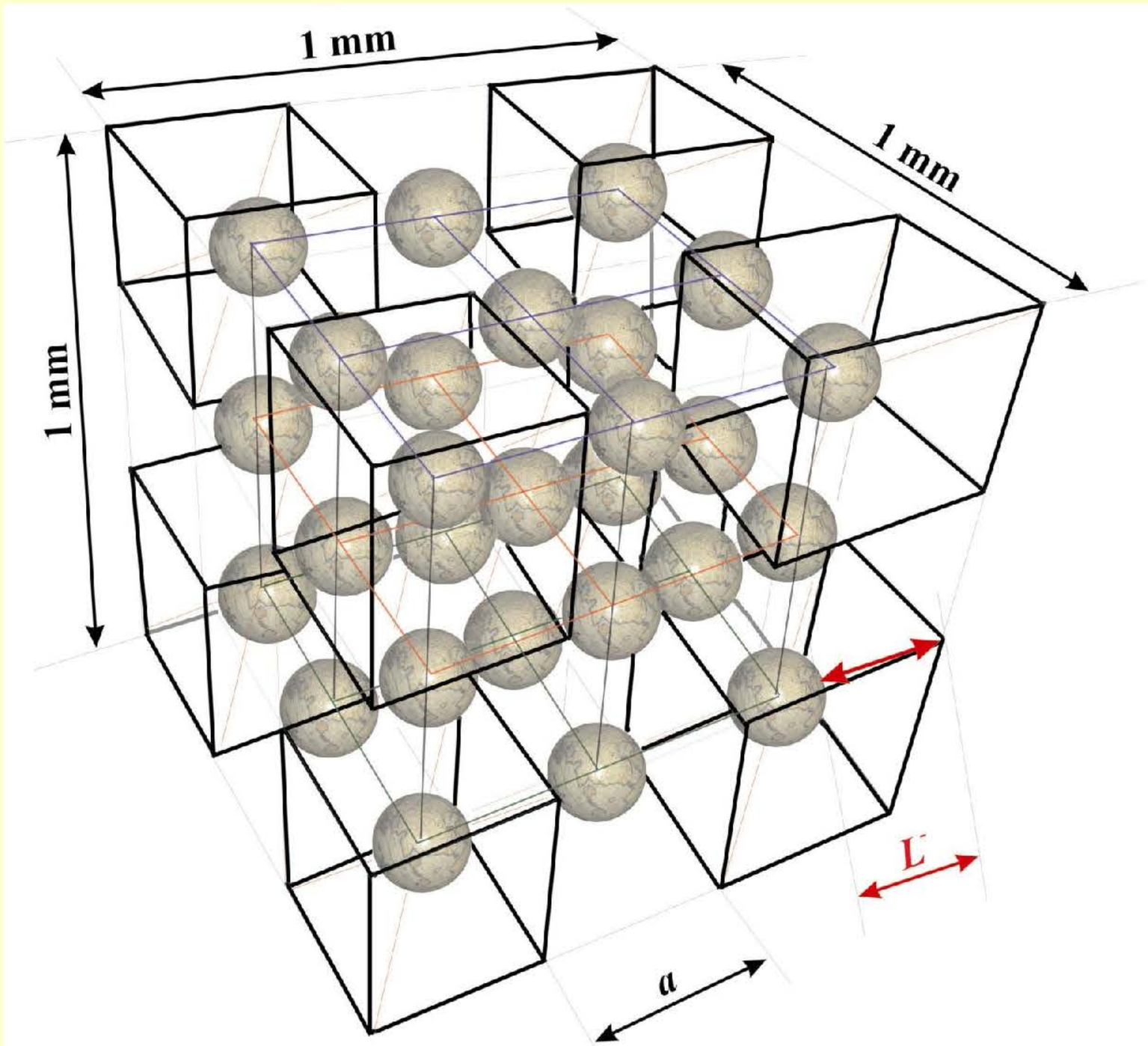
NAD 10. táblázat: Légbuborékképző adalékszerrel készített szilárd, fagy-, illetve fagy- és olvasztósóálló beton légbuborék szerkezeti követelménye

Környezeti osztály	*XF2 és XF3*	*XF4*
Távolsági tényező, legfeljebb, mm	*0,22*	*0,18*
0,3 mm-nél kisebb névleges átmérőjű (hatékony) légbuborékok mennyisége, legalább, térfogat%	*1,2*	*2,1*
Megjegyzés: A szilárd beton légbuborék szerkezetét (a távolsági tényezőt és a 0,3 mm-nél kisebb névleges átmérőjű légbuborékok mennyiségét) az MSZ EN 480-11:2006 szerint kell meghatározni. *A szilárd beton légbuborék szerkezetének az értékeléséhez ismerni kell a beton pontos összetételét is.*		

A légbuborék szerkezet vizsgálata egy olyan idealizált cementkő-modellt feltételez, amelyben egyforma méretű, gömb alakú légbuborékok egyenletes eloszlásban, köbös térrácsban helyezkednek el, és az idealizált légbuborék szerkezetnek ugyanakkora az összes térfogata és a térfogati fajlagos felülete, mint a tényleges hatékony légbuborék szerkezetnek.

Ebben a cementkő-modellben a *távolsági tényező* (jele: $\bar{L}$, mm-ben) a cementkőben a *térrács átlója* mentén egymás mellett fekvő két légbuborék felülete közötti névleges távolság fele.

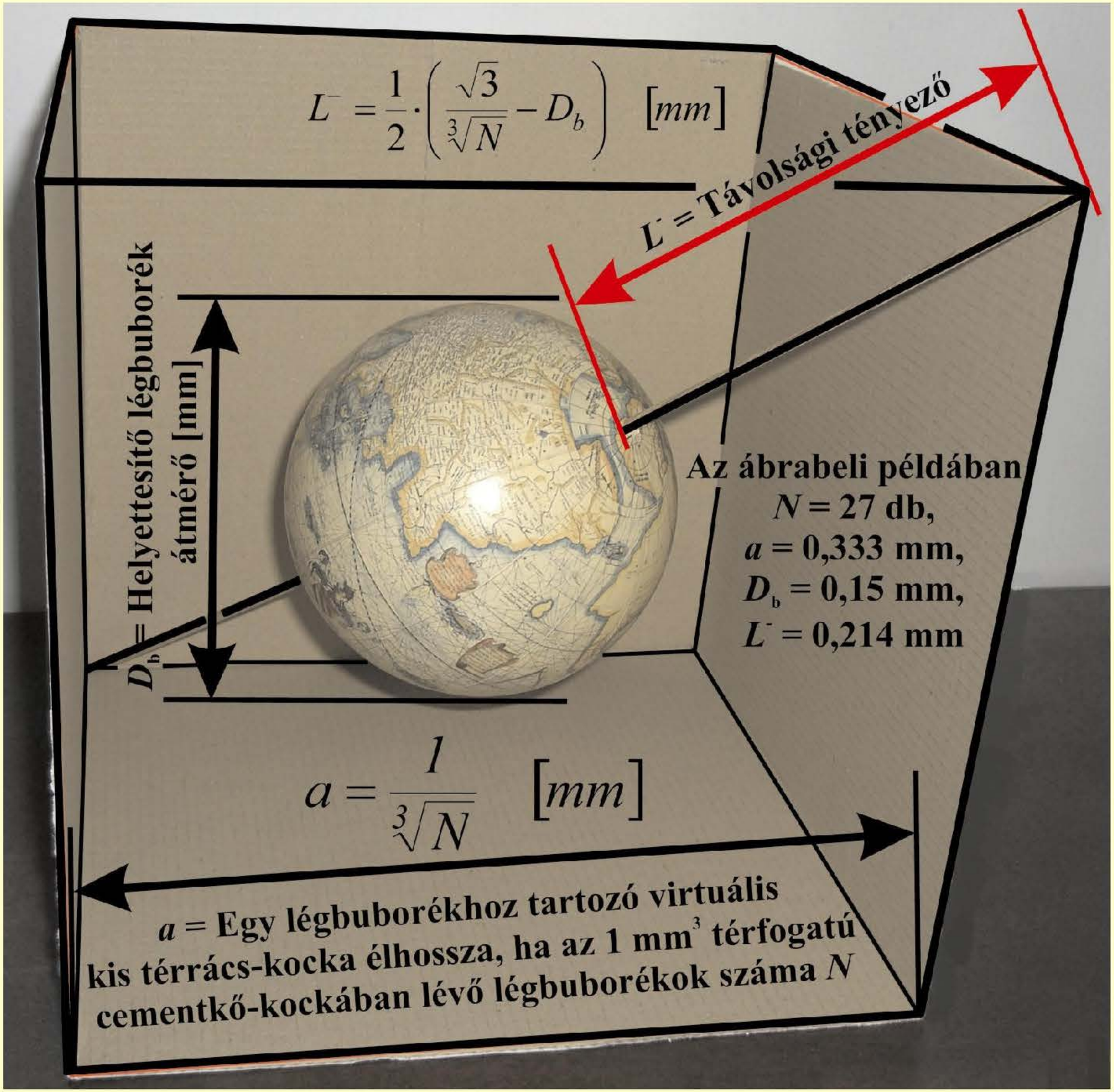
Ez a leghosszabb távolság, amelyet a nyomás hatására a vízmolekulának meg kell tennie ahhoz, hogy egy buborékfelszínhez érjen.



Az 1 mm^3 térfogatú virtuális cementkő-kockában köbös térrács szerint elhelyezkedő, az ábrabeli példában a D_b= 0,15 mm névleges átmérőjű légbuborékok száma: N= 27 db, egy légbuborékhoz tartozó kis térrács-kocka élhossza: $a = N^{-1/3}$ = 0,333 mm, a távolsági tényező: L= 0,214 mm

Idealizált cementkő-modell köbös térrácsban elhelyezkedő hatékony helyettesítő légbuborék szerkezettel

Forrás: http://www.betonopus.hu/notesz/fogalomtar/58-legbuborek.pdf

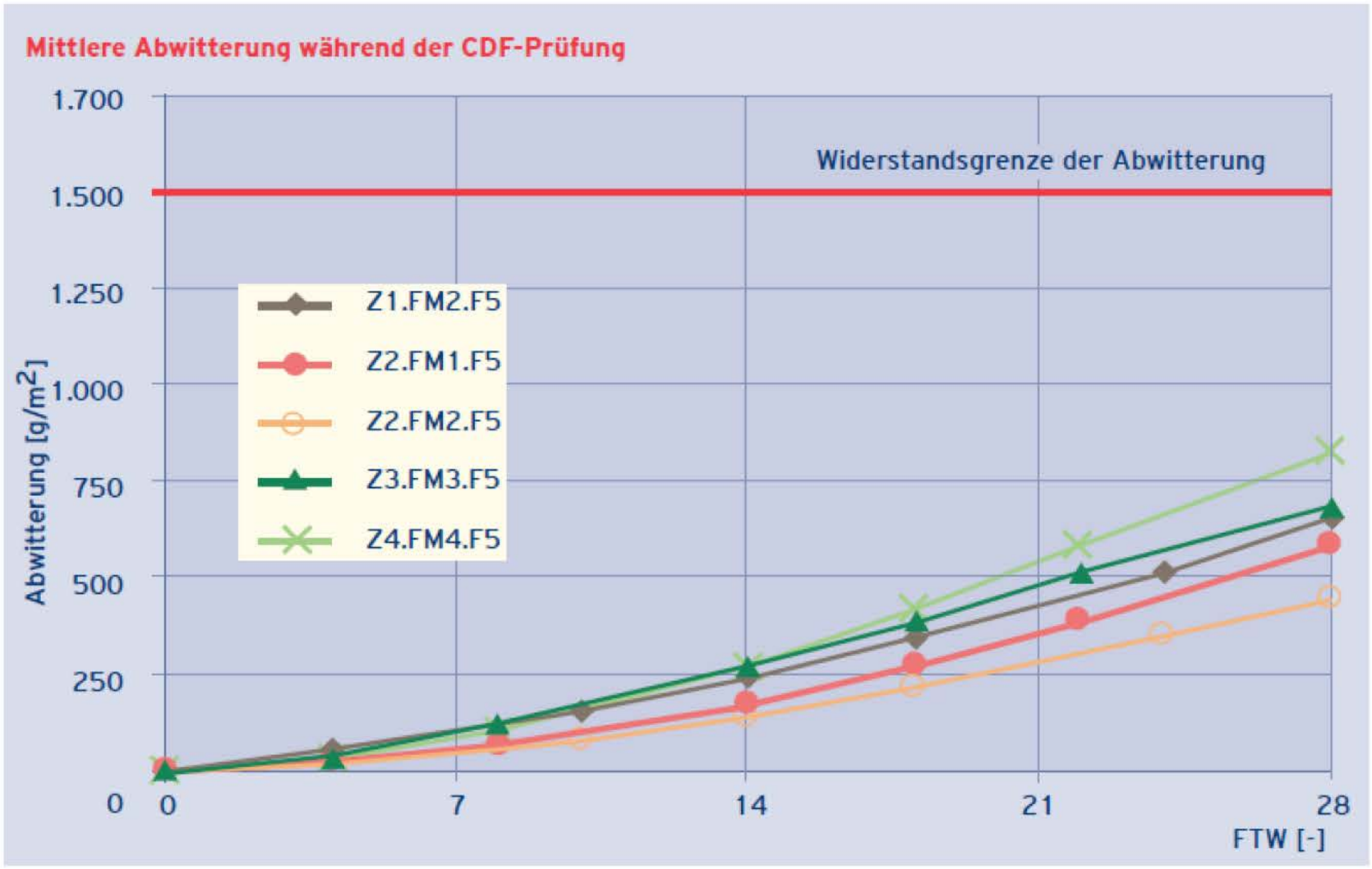


A hatékony helyettesítő légbuborék térfogateleme és a távolsági tényező az előző diakockán lévő ábra szerinti példa alapján

Forrás: http://www.betonopus.hu/notesz/fogalomtar/58-legbuborek.pdf

XF4-Betone ohne künstliche Luftporen

http://www.cemex.de/UserFiles/Infomaterial/XF4%20ohne%20LP.pdf



Die mittleren Abwitterungen der Betone lagen nach 28 Frost-Tau-Wechseln unter 1.500 g/m² und somit deutlich unterhalb der Forderungen, welche die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in ihrem Merkblatt „Frostprüfung von Beton“ vom Dezember 2004 aufstellt.

Des Weiteren wurde mittels Ultraschallprüfungen der Abfall des relativen dynamischen E-Moduls dokumentiert, welcher das Voranschreiten der inneren Schädigung bei Frost-Tau-Wechsel beschreibt. Entsprechend BAW-Merkblatt „Frostprüfung“ gilt Beton als geschädigt, wenn sein dynamischer E-Modul infolge der inneren Schädigung auf unter 75 % des Ursprungswerts abfällt. Die Ergebnisse der geprüften Betone zeigten Werte an, die sich weit unterhalb dieses Grenzwertes

Die CEMEX Deutschland AG hat in der Vergangenheit auf der Basis von Gutachten bei einzelnen Objekten erfolgreich XD3- und XF4-Betone ohne Luftporenbildner hergestellt. Nach Abschluß eines Forschungsprojekts zu XF4-Betonen ohne Eintrag künstlicher Luftporen an der

Container-Umschlagfläche im Hafen von Köln-Niehl: Als Oberbeton der zweischichtig betonierten Fläche wurde XF4 ohne LP eingesetzt.

5000 m³ XF4-Beton ohne Luftporenbildner kamen zum Einsatz. Die Bauteildicke betrug insgesamt 70 cm.

5000 m² felületű konténer átrakodó LP-képző nélkül készített XF4 környezeti osztályú betonból

800 m² felületű dilatáció nélküli helikopter leszálló LP-képző nélkül készített XF4 környezeti osztályú betonból

Hubschrauberlandeplatz in Minden: Die Fläche des Bauteils beträgt ca. 800 m² (fugenlos!), die Dicke zwischen 30 cm und 50 cm. Trotz widriger Umstände (hohe Temperaturen während des Betonierens am Vormittag, Abkühlung durch mittags einsetzenden Regen) trat kein einziger Riss auf. Bereits eine Stunde nach dem Betonieren konnte die Fläche geglättet werden. Als Nachbehandlung wurde ein Verdunstungsschutz aufgebracht, später erfolgte zusätzlich über mehrere Tage eine Nassnachbehandlung.

Beton ohne LP für die Expositionsklasse XF4

Fazit: Hohe Druckfestigkeitsanforderungen werden sicher erreicht

Im Prinzip gilt: 1 % mehr Luftporen im Beton bewirken ca. 5 bis 10 % weniger Druckfestigkeit. Diese Korrelation ist gerade bei Betonen mit hohen Festigkeitsklassen in Kombination mit luftporenbildenden Zusatzmitteln zum Teil problematisch. Die von der CEMEX Research Group AG in Zusammenarbeit mit der CEMEX Deutschland AG neuentwickelten XF4-Betone ohne Luftporenbildner schließen diesen Einfluss aus und erlauben es, auch hohe Druckfestigkeitsanforderungen sicher zu erreichen.

Sie eignen sich daher besonders für die Substitution von LP-Betonen mit hohen Druckfestigkeitsanforderungen (≥ C35/45). Solche Betone kommen beispielsweise in Parkhäusern, bei Industrieflächen und -bauten sowie im Betonfertigteilbau zur Anwendung.

DIN 1045-2:2008 szabvány (a DIN EN 206-1:2001 szabvány német nemzeti alkalmazási dokumentuma) az F.2.2 táblázatban a fagy- és olvasztósó-álló betonok változataként a légbuborékképzőszer nélkül készülő betonra külön XF2 és XF3 környezeti osztályt is megadott.

Expositionsklassen	XF1	XF2		XF3		XF4
Höchstzulässiger w/z	0,60	0,55[g]	0,50[g]	0,55	0,50	0,50[g]
Mindestdruckfestigkeitsklasse[b]	C25/30	C25/30	C35/45[e]	C25/30	C35/45[e]	C30/37
Mindestzementgehalt[c] in kg/m³	280	300	320	300	320	320
Mindestzementgehalt[c] bei Anrechnung von Zusatzstoffen in kg/m³	270	270[g]	270[g]	270	270	270[g]
Mindest-Luftgehalt in %	—	f	—	f	—	f, j

Fentiekhezhez hasonló a környezeti osztályokat *XF2(H)*, *XF3(H)* és *XF4(H)* jelekkel szerkezeti (nem útpályaszerkezeti) betonok esetén Magyarországon is alkalmazhatjuk az MSZ 4798:2016 betonszabvány alapján.

MSZ EN 206:2014 betonszabvány F melléklete, 1. táblázat alatti a) megjegyzés:

„Ha a betonban nincs mesterséges légbuborék, akkor a beton teljesítményét megfelelő módszerrel meg kell vizsgálni olyan betonnal összehasonlítva, amelyre az adott környezeti osztály esetén a fagyás/olvadás állóságot bebizonyították. *További információk a (11) bekezdésben.”*

MSZ 4798:2016 betonszabvány F mellékletének (11) bekezdése:

„A betonok fagy-, illetve fagy- és olvasztósó-állóságát valamennyi XF és XF(H) környezeti osztályban az 5.5.5. szakasz szerint meg kell vizsgálni. A beton feleljen meg az 5.5.5. szakaszban foglalt követelményeknek.”

MSZ 4798:2016 NAD 6. táblázat: A beton fagy-, illetve fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálata a környezeti osztálytól függően

Fagyállóság vizsgálat	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat
XF1 **A fagyállóság vizsgálata megegyezés esetén elhagyható, ha a beton az MSZ 4798:2016 szabvány F1. táblázata szerinti feltételeknek megfelel**	**–**
XF3	**XF2**
A beton feleljen meg a NAD 7. - NAD 9. táblázat valamelyike szerinti követelménynek. A vizsgálat megegyezés esetén elhagyható, ha a szilárd beton légbuborék szerkezete a NAD 10. táblázat szerinti követelményeknek megfelel.	
XF3(H)	**XF2(H)**
A beton feleljen meg a NAD 7. - NAD 9. táblázat valamelyike szerinti követelménynek.	

MSZ 4798:2016 NAD 6. táblázat: A beton fagy-, illetve fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálata a környezeti osztálytól függően

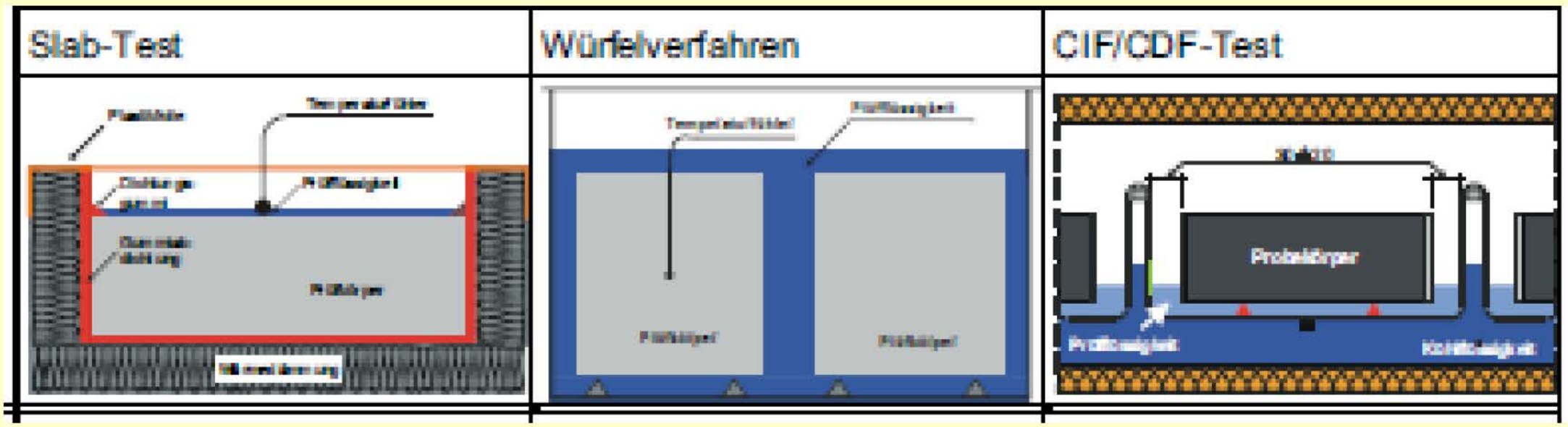
Fagyállóság vizsgálat	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat
—	XF4 A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot és a légbuborék szerkezet vizsgálatot is el kell végezni. A beton feleljen meg a NAD 7. - NAD 9. táblázat valamelyike szerinti fagy- és olvasztósó-állósági követelménynek. A légbuborék szerkezet elégítse ki a NAD 10. táblázat szerinti követelményeket
—	XF4(H) A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot és vízzáróság vizsgálatot is el kell végezni. A beton feleljen meg a NAD 7. - NAD 9. táblázat valamelyike szerinti fagy- és olvasztósó-állósági követelménynek. Az MSZ EN 12390-8:2009 szerint meghatározott legnagyobb vízbehatolás ne legyen több 20 mm-nél.

Az MSZ 4798:2016 szabvány a fagyállóság, illetve a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatára az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti három-három féle módszert ajánlja, amelyek közül az alkalmazandó módszert az érdekelt felek szabadon választhatják ki. A módszerek a következők:

– peremes hámlasztási felületvizsgálat;

– bemerítéses kockavizsgálat;

– kapilláris felszívásos hámlasztási CF (CIF), illetve CDF vizsgálat.



Forrás: *Siebel, E.* et al.: Übertragbarkeit von Frost-Laborprüfungen auf Praxisverhältnisse. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Beuth. Berlin, 2005.

Tájékoztatás a fagyállóság vizsgálati szabvány érvényéről

- **A CEN a CEN/TS 12390-9:2006 szabványt (TS = Technical Specifications, azaz Európai Műszaki Követelmények) 2016-ban visszavonta, és CEN/TS 12390-9:2016 „Testing hardened concrete. Part 9: Freeze-thaw resistance with de-icing salts. Scaling" jelzettel módosított fagyállóság vizsgálati szabványt adott ki.**
- **Az új CEN/TS 12390-9:2016 szabványt a Magyar Szabványügyi Testület eddig (2017 áprilisáig) még nem honosította, de az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabványt 2017. február 1-én visszavonta.**
- **Németországban az új CEN/TS 12390-9:2016 szabványt DIN CEN/TS 12390-9:2017-05 (D) „Prüfung von Festbeton. Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand. Abwitterung. Deutsche Fassung CEN/TS 12390-9:2016" néven 2017 májusában fogják honosítani.**

  A DIN CEN/TS 12390-9:2017-05 (D) szabvány *tartalomjegyzéke* itt:

  http://www.beuth.de/de/fachgebiete/bauwesen/fachdaten-einzelsicht/wdc-beuth:din21:271273411/toc-2649732/download

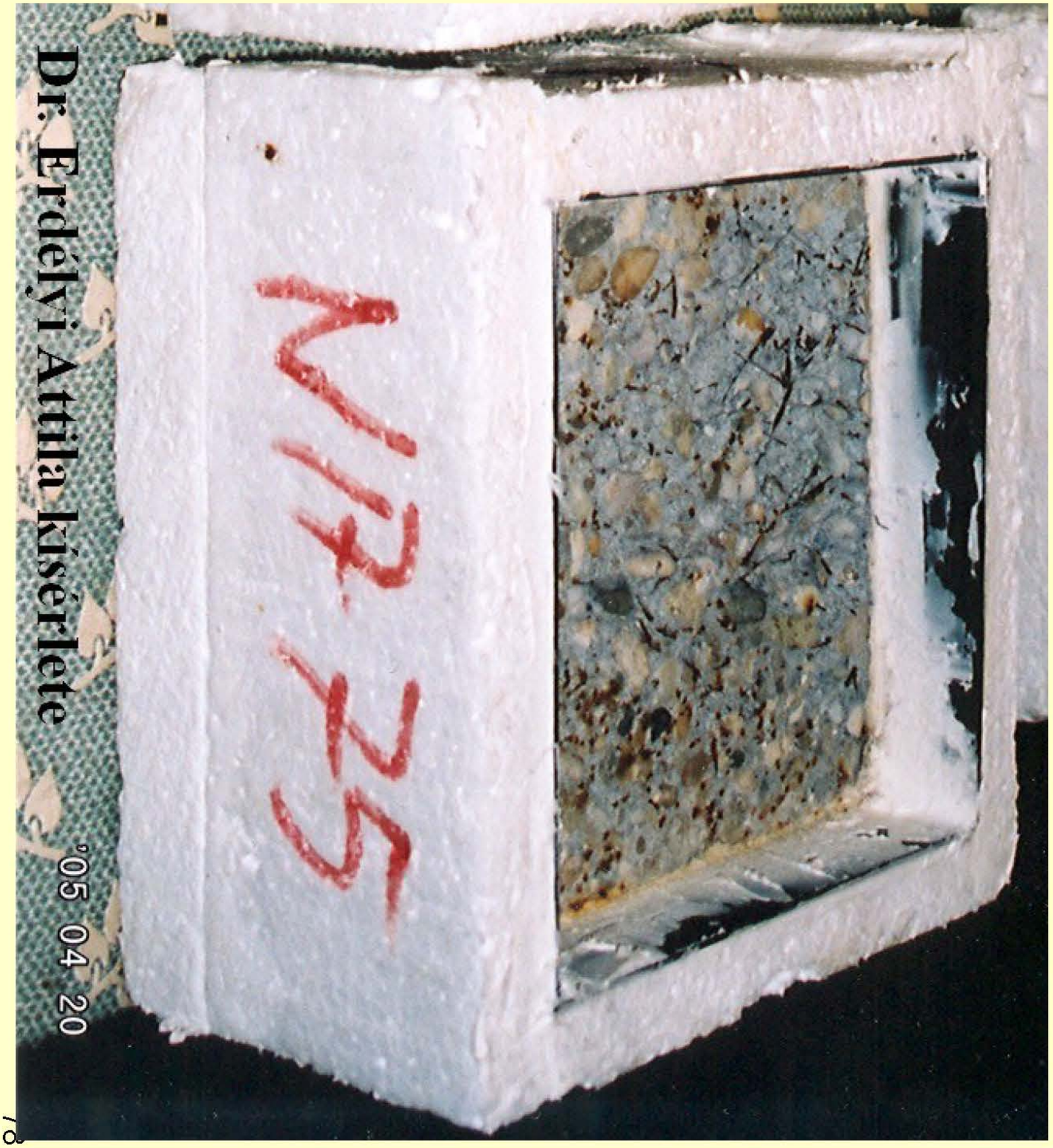
  ***előszava* itt olvasható: http://www.beuth.de/de/technische-regel/din-cen-ts-12390-9/271273411**

MSZ 4798:2016 NAD 7. táblázat: Fagyállóság, illetve fagy- és olvasztósó-állóság követelménye peremes hámlasztás esetén

	Fagyállóság vizsgálat	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat
Vizsgálat	Peremes hámlasztás	
Fagyasztóközeg	3 mm mély ionmentes víz	3 mm mély 3 %-os NaCl oldat
Megengedett legnagyobb tömegveszteség	XF1 esetén: átlag: 1500 g/m², egyedi: 2000 g/m²	XF2 és XF2(H) esetén: átlag: 1500 g/m², egyedi: 2000 g/m²
	XF3 és XF3(H) esetén: átlag: 1000 g/m², egyedi: 1350 g/m²	XF4 és XF4(H) esetén: átlag: 1000 g/m², egyedi: 1350 g/m²

Kausay

Peremes fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálati próbatest



MSZ 4798:2016 NAD 8. táblázat: Fagyállóság, illetve fagy- és olvasztósó-állóság követelménye bemerítéses kockavizsgálat esetén

	Fagyállóság vizsgálat	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat
Vizsgálat	Bemerítéses kockavizsgálat	
Fagyasztó-közeg	A próbatestet (25±5) mm-rel ellepő ionmentes víz	A próbatestet (25±5) mm-rel ellepő 3%-os NaCl oldat
Megenge-dett leg-nagyobb tömeg-veszteség	XF1 esetén: átlag: 6,5 tömeg%, egyedi: 7,5 tömeg%	XF2 és XF2(H) esetén: átlag: 6,5 tömeg%, egyedi: 7,5 tömeg%
	XF3 és XF3(H) esetén: átlag: 4,0 tömeg%, egyedi: 5,0 tömeg%	XF4 és XF4(H) esetén: átlag: 4,0 tömeg% egyedi: 5,0 tömeg%

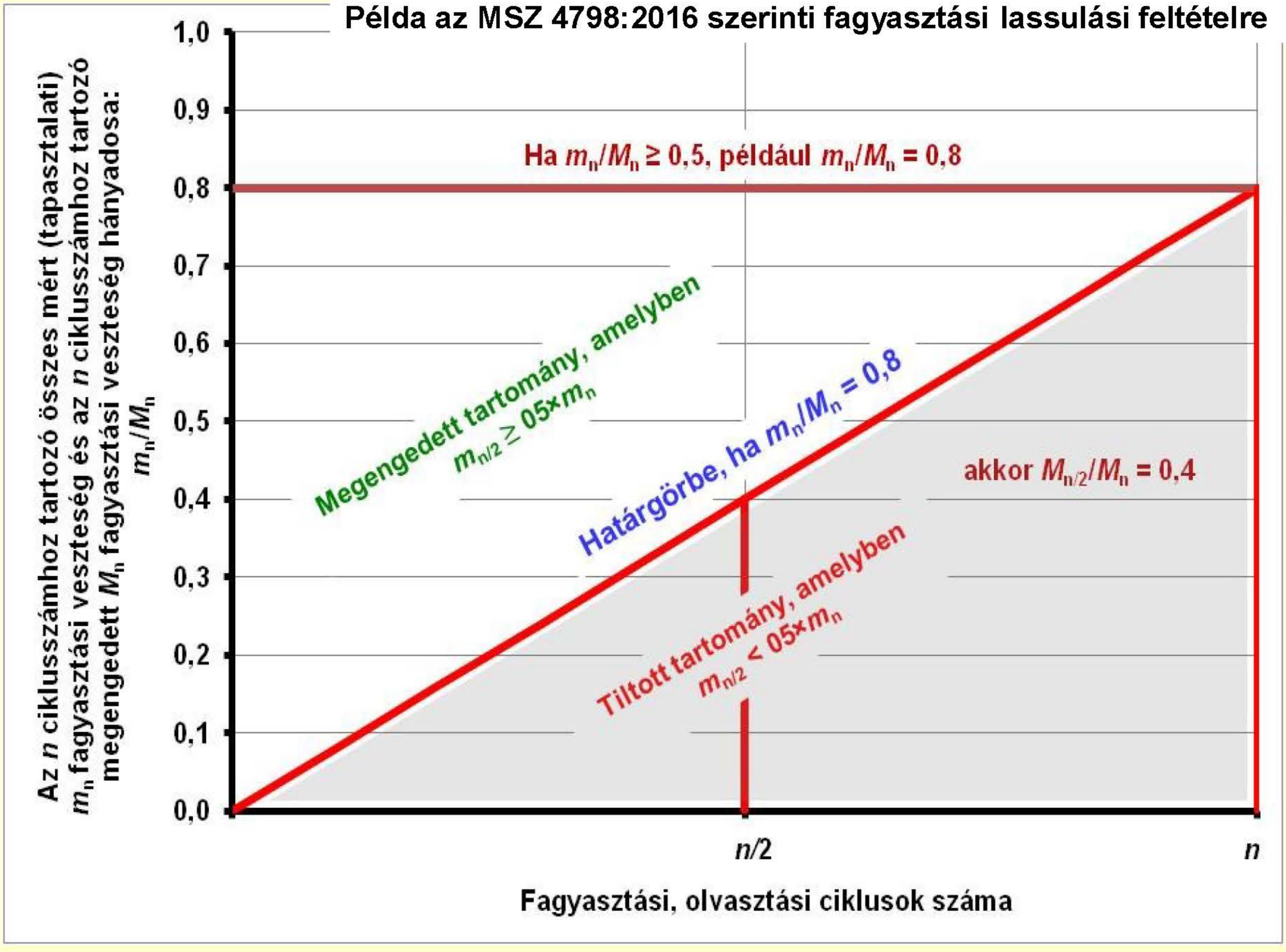
MSZ 4798:2016 NAD 9. táblázat: Fagyállóság, illetve fagy- és olvasztósó-állóság követelménye kapilláris felszívódásos hámlasztás esetén

	Fagyállóság vizsgálat	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat
Vizsgálat	Kapilláris felszívásos hámlasztás	
	„CF” vizsgálat	„CDF” vizsgálat
Fagyasztóközeg	10 mm mély ionmentes víz	10 mm mély 3%-os NaCl oldat
Megengedett legnagyobb tömegveszteség	XF1 esetén: átlag: 1500 g/m^2, egyedi: 2000 g/m^2	XF2 és XF2(H) esetén: átlag: 1500 g/m^2, egyedi: 2000 g/m^2
	XF3 és XF3(H) esetén: átlag: 1000 g/m^2, egyedi: 1350 g/m^2	XF4 és XF4(H) esetén: átlag: 1000 g/m^2, egyedi: 1350 g/m^2

A peremes hámlasztási és a kapilláris felszívásos hámlasztási vizsgálat esetén (az MSZ EN 13877-2:2013 „Betonburkolatok. 2. rész: Betonburkolatok rendeltetésnek megfelelő követelményei” és SN EN 206-1/NE:2013 szabványt követve) **ajánlott az MSZ 4798:2016 szabvány szerinti fagyasztási lassulási feltétel betartása is: Ha az előírt *n* ciklusszám utáni összes mért (tapasztalati) fagyasztási veszteség (m_n) eléri az *n* ciklusszám után megengedett M_n fagyasztási veszteség felét vagy annál nagyobb ($m_n \geq M_n/2$), akkor a fagyasztási folyamat második felében ne legyen nagyobb a tömegveszteség, mint az első felében volt ($m_n - m_n/2 \leq m_n/2$.**

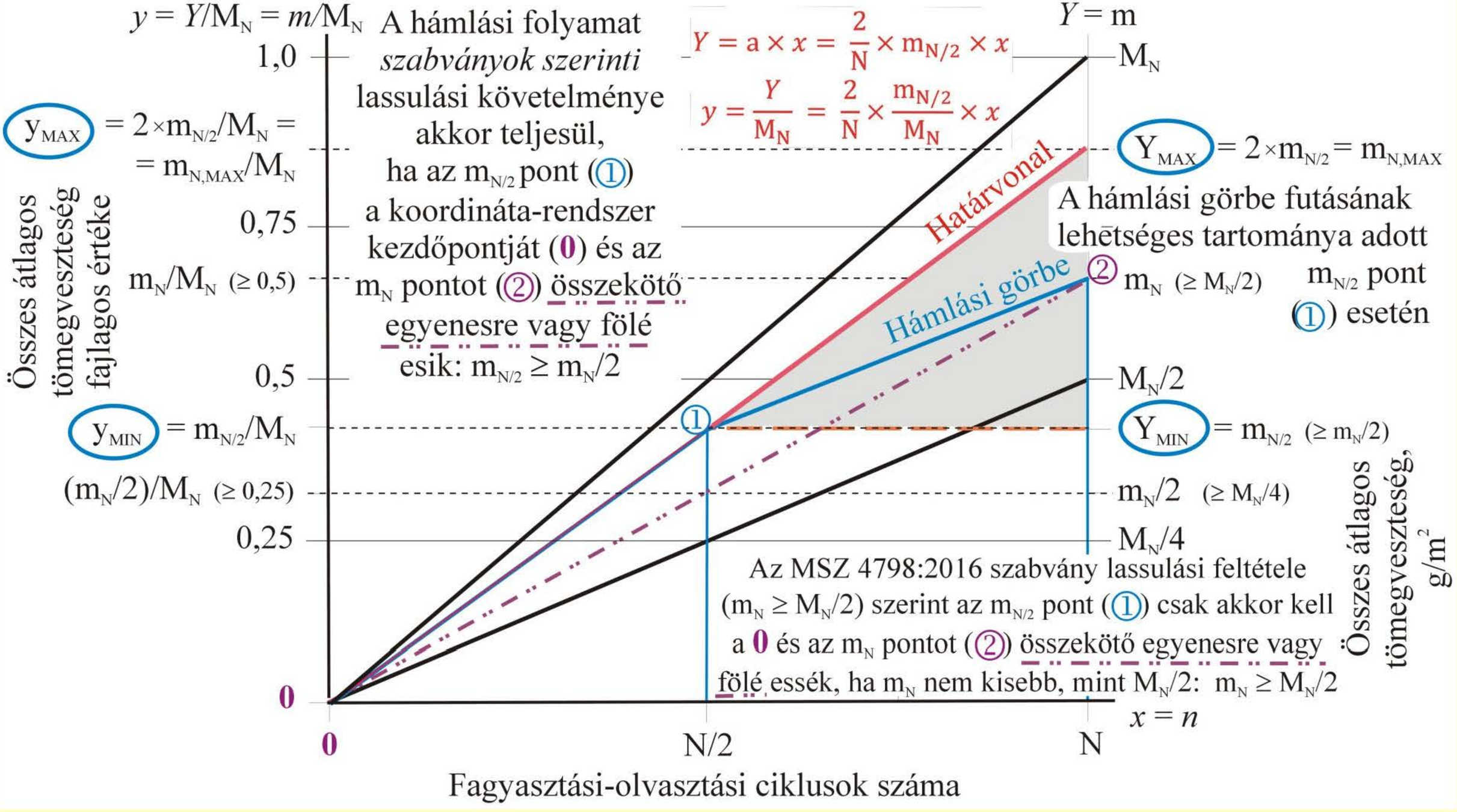
Az m_n/M_n = 0,8 hányadoshoz tartozó határgörbe és megengedett fagyállósági görbe tartomány esetére a következő diakockán mutatunk be példát.

Példa az MSZ 4798:2016 szerinti fagyasztási lassulási feltételre



A hámlási folyamat lassulásának feltétele:

$$\frac{m_{N/2}}{2} \le \frac{m_N}{2} \le \frac{M_N}{2} \le m_N \le 2 \times m_{N/2}$$



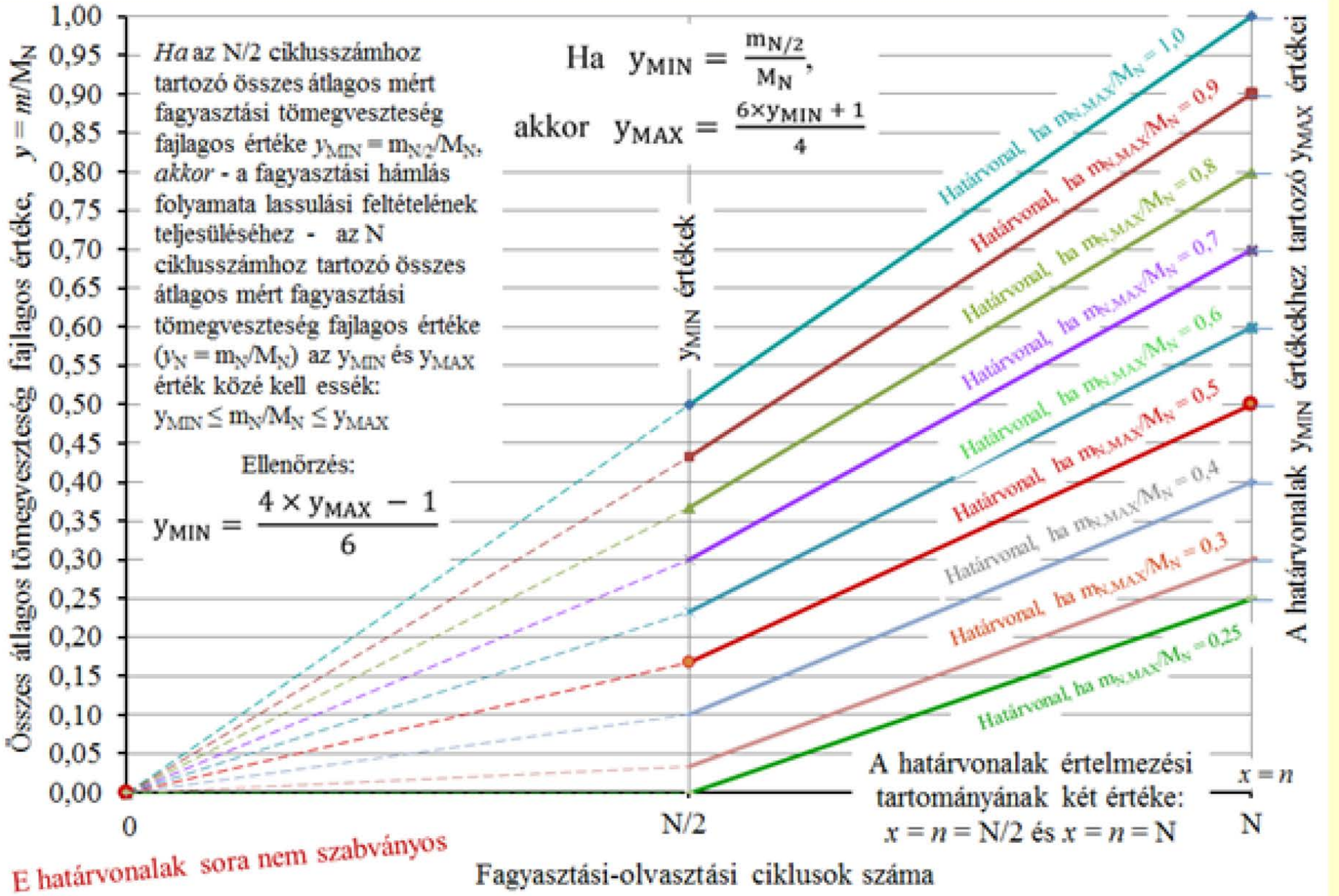
MSZ 4798:2016 betonszabvány szerinti fagyasztási hámlási lassulási feltétel (ajánlás) értelmezése

Az MSZ 4798:2016 szabvány szerinti fagyasztási lassulási feltétel – függetlenítve az előírt *n* ciklusszám utáni összes mért m_n fagyasztási veszteség és az *n* ciklusszám után megengedett M_n fagyasztási veszteség viszonyától – kiterjeszthető lenne a teljes fagyasztási folyamatra is.

Javasoljuk azonban, hogy ebben az esetben a lassulási feltétel határgörbéje a vizsgálat félidejéhez tartozó *n*/2 ciklusszámnál – az m_n/M_n hányados csökkenésével egyre jobban – törjön meg, ahogy az a következő diakockán lévő ábrán látszik. Ezzel közvetlenül a határgöbék felett elhelyezkedő kissé – az m_n/M_n hányados csökkenésével egyre jobban – gyorsuló fagyasztási görbéket is elfogadjuk.

A megengedett és a tiltott tartomány határgörbéjének ordinátája az *n*/2 helyen:

$$M_{n/2}/M_n = (4\times(m_n/M_n) - 1)/6$$



A fagyasztás hámlási folyamatának továbbfejlesztett lassulási határvonalai

A fagyállóság vizsgálat elvégzését folyamatábrákkal lehet megkönnyíteni:

1. ábra: Légbuborék nélküli, olvasztósó hatásának ki nem tett, ionmentes vízben fagyasztott, XF1 és XF3(H) környezeti osztályú beton fagyállóság vizsgálatának folyamatábrája

2. ábra: Légbuborékképző adalékszerrel készített, olvasztósó hatásának ki nem tett, ionmentes vízben fagyasztott, XF3 környezeti osztályú beton fagyállóság vizsgálatának folyamatábrája

3. ábra: Légbuborékképző adalékszerrel készített, olvasztósó hatásának kitett, 3%-os NaCl oldatban fagyasztott, XF2 és XF4 környezeti osztályú beton fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatának folyamatábrája

4. ábra: Légbuborék nélküli, olvasztósó hatásának kitett, 3%-os NaCl oldatban fagyasztott, XF2(H) és XF4(H) környezeti osztályú beton fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatának folyamatábrája

A négy fagyállósági folyamatábra nagyobb léptékben itt tekinthető meg:
http://www.betonopus.hu/notesz/fagyallosagi-folyamatabra.pdf

A következő diakockán példaképpen a légbuborékképző adalékszerrel készített, olvasztósó hatásának kitett, 3%-os NaCl oldatban fagyasztott, XF2 és XF4 környezeti osztályú beton fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatának folyamatábrája látható (3. ábra).

A beton tervezett környezeti osztálya, feltéve, hogy összetétele és nyomószilárdsági osztálya a környezeti osztály szerinti követelményeknek megfelel

XF2

A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat elhagyásában meg kívánnak-e egyezni?

Igen

A szilárd beton légbuborék szerkezetét meg kell vizsgálni.

Nem

A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálati módszerben meg kell egyezni, és a vizsgálatot el kell végezni.

1

2

A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat eredménye megfelel-e a tervezési élettartam és az XF2 környezeti osztály szerinti követelményeknek?

Nem

A beton nem fagy- és olvasztósóálló.

Igen

A beton az XF2 környezeti osztály feltételei között fagy- és olvasztósóálló.

A szilárd beton légbuborék szerkezete megfelel-e az XF2 környezeti osztály szerinti követelményeknek?

Nem

Meg lehet vizsgálni, hogy a szilárd beton légbuborék szerkezete megfelel-e az XF2 környezeti osztály szerinti követelményeknek.

Meg lehet vizsgálni, hogy a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat eredménye megfelel-e a tervezési élettartam és az XF2 környezeti osztály szerinti követelményeknek.

Nem

A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat eredménye megfelel-e a tervezési élettartam és az XF2 környezeti osztály szerinti követelményeknek?

Nem

A beton nem fagy- és olvasztósóálló.

Igen

A beton az XF2 környezeti osztály feltételei között fagy- és olvasztósóálló.

XF4

A szilárd beton légbuborék szerkezete megfelel-e az XF4 környezeti osztály szerinti követelményeknek?

Nem

Igen

A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálati módszerben meg kell egyezni, és a vizsgálatot el kell végezni.

1

2

A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat eredménye megfelel-e a tervezési élettartam és az XF4 környezeti osztály szerinti követelményeknek?

Nem

Igen

A beton az XF4 környezeti osztály feltételei között fagy- és olvasztósóálló.

1

A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat a tervezési élettartam szerinti, tervezett ciklusszám felének elérése után abbahagyható, ha a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat eredménye a tervezett ciklusszám feléhez tartozó - a tervezett környezeti osztályban előírt - követelményeknek megfelel. Ellenkező esetben a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot a tervezett ciklusszámig folytatni kell.

1

2

Megállapodás tárgyát képezi, figyelembe veszik-e, hogy a szilárd beton légbuborék szerkezete nem felel meg az XF2 környezeti osztály szerinti követelménynek, és a betont nem tekintik fagy- és olvasztósó-állónak, vagy az XF2 környezeti osztály feltételei között annak tekintik, ha a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat eredménye megfelel a tervezési élettartam és az XF2 környezeti osztály szerinti követelményeknek.

2

3. ábra: Légbuborékképző adalékszerrel készített, olvasztósó hatásának kitett, 3%-os NaCl oldatban fagyasztott, XF2 és XF4 környezeti osztályú beton fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatának folyamatábrája

Friss falazat téli szétfagyása

Kémiai korrózió

MSZ 4798:2016 szabvány 1. táblázat: Környezeti osztályok

6. Kémiai korrózió		
6.1. Természetes talaj és talajvíz, valamint egyéb természetes vizek okozta kémiai korrózió **Amikor a beton ki van téve a természetes talajból és talajvízből, valamint egyéb természetes vizekből származó anyagok kémiai korróziójának, akkor az igénybevételt a következőképpen kell osztályozni:**		
XA1	Enyhén agresszív kémiai környezet	Természetes talajnak és talajvíznek, valamint egyéb természetes víznek kitett beton a 2. táblázat szerint
XA2	Mérsékelten agresszív kémiai környezet	Természetes talajnak és talajvíznek , valamint egyéb természetes víznek kitett beton a 2. táblázat szerint
XA3	Nagymértékben agresszív kémiai környezet	Természetes talajnak és talajvíznek, valamint egyéb természetes víznek kitett beton 2. táblázat szerint

MSZ 4798:2016 szabvány 2. táblázat: Környezeti osztályok határértékei talajvíz és egyéb természetes vizek okozta kémiai korróziótól függően

Kémiai jellemző	Vizsgálati módszer	XA1	XA2	XA3
Talajvíz és egyéb természetes vizek				
SO_4^{2-}, mg/l Duzzadásos korrózió	MSZ EN 196-2	≥ 200 és ≤ 600	> 600 és ≤ 3000	>3000 és ≤ 6000
pH Oldódásos korrózió	ISO 4316 MSZ EN ISO 10523	≤ 6,5 és ≥ 5,5	< 5,5 és ≥ 4,5	< 4,5 és ≥ 4,0
agresszív CO_2, mg/l Oldódásos korrózió	MSZ EN 13577	≥ 15 és ≤ 40	> 40 és ≤ 100	> 100 telítettségig
NH^{4+}, mg/l Oldódásos korrózió	MSZ ISO 7150-1	≥ 15 és ≤ 30	> 30 és ≤ 60	> 60 és ≤ 100
Mg^{2+}, mg/l Oldódásos korrózió	MSZ EN ISO 7980	≥ 300 és ≤ 1000	> 1000 és ≤ 3000	> 3000 telítettségig
Kloridtartalmú talajvizek és egyéb természetes vizek esetén a betont a kloridtartalom szempontjából az XD2 környezeti osztályba kell sorolni.				

MSZ 4798:2016 szabvány 2. táblázat: Környezeti osztályok határértékei talaj okozta kémiai korróziótól függően

Kémiai jellemző	Vizsgálati módszer	XA1	XA2	XA3
Talaj				
SO_4^{2-} összes (SO_3-ban kifejezve), mg/kg Duzzadásos korrózió	MSZ EN 196-2	≥ 2000 és ≤ 3000	> 3000 és ≤ 12000	> 12000 és ≤ 24000
Savassági fok *Baumann-Gully* szerint, ml/kg Oldódásos korrózió	EN 16502	> 200	A gyakorlatban nem fordul elő	
A 10^{-5} m/s áteresztőképesség alatti agyagtalajokat alacsonyabb osztályba szabad sorolni.				

MSZ 4798.2016 F1. táblázat: Határértékek a beton összetételére és tulajdonságaira Alkalmazási terület	Környe-zeti osztály jele	Beton nyomó-szilárd-sági osztá-lya leg-alább	Beton cement-tartal-ma leg-alább kg/m³	Beton víz-cement tényе-ző je legfel-jebb	Friss beton tervezett levegőtartalma a NAD F2. táblázat szerinti érték legyen Ajánlott cementfajták
6.1. Talaj és talajvíz kémiai korróziójának ellenálló beton és vasbeton szerkezetek					
Agresszív talajjal vagy talajvízzel érintkező, enyhén korrózióálló beton	XA1	C30/37	300	0,55	Bármely MSZ EN 197-1:2000 szerinti CEM II fajtájú kohósalak-portlandcement
Agresszív talajjal vagy talajvízzel érintkező, mérsékelten korrózió- és szulfátálló beton	XA2	C30/37	320	0,50	MSZ 4737-1:2002 szerinti MS jelű mérsékelten szulfátálló vagy SR jelű szulfátálló portlandcement vagy MSZ EN 197-1:2000 szerinti CEM III/A 32,5 N kohósalakcement
Agresszív talajjal vagy talajvízzel érintkező, erősen korrózió- és szulfátálló beton	XA3	C35/45	360	0,45	MSZ 4737-1:2002 szerinti SR jelű szulfátálló portlandcement vagy CEM III fajtájú kohósalakcement, MSZ EN 197-1 és MSZ 4737-1 szabvány szerinti CEM III/B 32,5 N kohósalakcement

Környezeti osztály	Meghatározó agresszív hatóanyagok	Környezeti hatás következménye		Várhatóan a legjobb	Várhatóan jó	Esetleg még jó	Rossz
				megoldás a korrózióállság szempontjából			
XA1	**Szulfátok**	**Beton**	**Duzzadás**	CEM I-SR 0, CEM II/B-S-MSR, CEM II/B-V-MSR, CEM II/B-M(S-V)-MSR, CEM III/B-SR	CEM I-SR 5, CEM II/A-S-MSR, CEM II/A-V-MSR, CEM III/A-MSR, CEM I + 30% V	CEM I + 20% V, CEM IV/B-SR	CEM I, ha nem SR, iII. kiegészítőanyag nélkül; CEM II, ha nem MSR
	Savak		**Oldódás**	CEM II/B-S + 5% Mk, CEM II/B-S + 11% D, CEM II/B-V + 5% Mk, CEM II/B-V + 11% D, CEM III/B	CEM II/A-S + 11% Mk, CEM II/A-S + 11% D, CEM II/A-V + 11% Mk, CEM II/A-V + 11% D, CEM III/A	CEM II/B-S, CEM II/B-V, CEM II/B-M(S-V)	CEM I; CEM II kiegészítőanyag nélkül; CEM II-LL, CEM II-M (S-LL), CEM II-M (V-LL)
XA2	**Szulfátok**		**Duzzadás**	CEM I-SR 0, CEM III/B-SR	CEM I-SR 3, CEM II/B-S-MSR, CEM II/B-V-MSR, CEM II/B-M(S-V)-MSR	CEM I-SR 5, CEM II/A-S-MSR, CEM II/A-V-MSR, CEM III/A-MSR, CEM I + 30% V	CEM I, ha nem SR, iII. kiegészítőanyag nélkül; CEM II, ha nem MSR
	Savak		**Oldódás**	CEM III/B, CEM III/C	CEM II/B-S +5% Mk, CEM II/B-S + 11% D, CEM II/B-V + 5% Mk, CEM II/B-V + 11% D, CEM III/A	CEM II/A-S + 11% Mk, CEM II/A-S + 11% D, CEM II/A-V + 11% Mk, CEM II/A-V + 11% D	CEM I; CEM II kiegészítőanyag nélkül; CEM II-LL, CEM II-M (S-LL), CEM II-M (V-LL)

Környezeti osztály	Meghatározó agresszív hatóanyagok	Környezeti hatás következménye		Várhatóan a legjobb	Várhatóan jó	Esetleg még jó	Rossz
				megoldás a korrózióállság szempontjából			
XA3	Szulfát-tok	Beton	duzzadás	CEM III/C-SR	CEM I-SR 0, CEM III/B-SR	CEM I-SR 3, CEM II/B-S-MSR, CEM II/B-V-MSR, CEM II/B-M(S-V)-MSR	CEM I, ha nem SR; CEM II, ha nem MSR
	Savak		oldódás	CEM III/C	CEM III/B	CEM II/B-S +5% Mk, CEM II/B-S + 11% D, CEM II/B-V + 5% Mk, CEM II/B-V + 11% D, CEM III/A	CEM I; CEM II kiegészítőanyag nélkül; CEM II-LL, CEM II-M (S-LL), CEM II-M (V-LL)

Ajánlás kötőanyagok alkalmazására

6.2. A szulfátálló, általános felhasználású cementek (SR-cementek) összetétele és jelölése

Az EN 197-1-nek megfelelő szulfátálló általános felhasználású cementek hét terméket tartalmazó családját a 2. táblázat tartalmazza.

Ezek a következő három fő cementfajtába csoportosíthatók:

Szulfátálló portlandcement:

- CEM I-SR 0 Szulfátálló portlandcement (a klinker C_3A tartalma = 0%),
- CEM I-SR 3 Szulfátálló portlandcement (a klinker C_3A tartalma ≤ 3%),
- CEM I-SR 5 Szulfátálló portlandcement (a klinker C_3A tartalma ≤ 5%).

Szulfátálló kohósalakcement:

- CEM III/B-SR Szulfátálló kohósalakcement (a klinker C_3A tartalmára nincs követelmény),
- CEM III/C-SR Szulfátálló kohósalakcement (a klinker C_3A tartalmára nincs követelmény).

Szulfátálló puccolán cement:

- CEM IV/A-SR Szulfátálló puccolán cement (a klinker C_3A tartalma ≤ 9%),
- CEM IV/B-SR Szulfátálló puccolán cement (a klinker C_3A tartalma ≤ 9%).

A szulfátálló általános felhasználású cementek családjának hét terméke az összetétele alapján feleljen meg a 2. táblázat előírásainak. A cementfajták jelölése feleljen meg a szabvány követelményeinek úgy, hogy a CEM I cementek esetében az SR 0, az SR 3, az SR 5, a CEM III és CEM IV cementek esetében pedig csak az „SR" kiegészítő jelöléseket kell hozzáfűzni.

MSZ 4798:2016 szabvány 1. táblázat: Környezeti osztályok

6.2. Egyéb agresszív vizek és folyadékok okozta kémiai korrózió

Amikor a beton agresszív csapadékvízzel, agresszív kommunális vízzel, agresszív ipari és mezőgazdasági szennyvízzel, illetve egyéb agresszív folyadékkal, kondenzációs vízzel érintkezik, akkor az igénybevételt a következőképpen kell osztályozni:

XA4(H)	Csapadékvíz, kommunális szennyvíz, illetve ezek gőze vagy permete éri a mérsékelten korrozió- és saválló betont	Esővíz tároló műtárgyak, kommunális csatornázási elemek, trágyalé tároló medencék a NAD 2. táblázat szerint
XA5(H)	Ipari és mezőgazdasági szennyvíz és egyéb agresszív folyadék, illetve ezek gőze vagy permete éri a közepesen korrózió- és saválló betont	Csatornázási elemek, szennyvíz ülepítő medencék, hulladéklerakók csurgalékvíz tároló medencéi, terménytárolók a NAD 2. táblázat szerint
XA6(H)	Nagyon agresszív ipari szennyvíz vagy folyadék, illetve ezek gőze vagy permete éri a fokozottan korrózióálló betont	Tisztítatlan ipari szennyvizekkel és kemikáliákkal érintkező betonok, hűtőtornyok füstgáz elvezetéssel, állatetető vályúk és mezőgazdasági erjesztő silók a NAD 2. táblázat szerint

NAD 2. táblázat: Környezeti osztályok a csapadékvizek, kommunális, ipari és mezőgazdasági szennyvizek és egyéb agresszív folyadékok, kondenzációs vizek kémiai korróziót okozó jellemző értékeitől függően

Kémiai jellemző	Vizsgálati módszer	Környezeti osztály		
		XA4(H)	XA5(H)	XA6(H)
pH érték Oldódásos korrózió Kénsav-korrózió esetén járulékos duzzadásos korrózió is	MSZ EN ISO 10523 MSZ EN 15933 MSZ 260-4 MSZ 1484-22	< 6,5 és ≥ 5,0	< 5,0 és ≥ 4,0	< 4,0 és ≥ 3,5
Vízkeménység Oldódásos korrózió	MSZ 448-21	3 – 7 nk° 0,54 – 1,25 (mmol/liter) lágy víz	0 – 3 nk° 0 – 0,54 (mmol/liter) nagyon lágy víz	
Biokémiai oxigénigény 5 napos, BOI_5, mg/l Oldódásos korrózió	MSZ EN 1899-1 MSZ EN 1899-2	5 – 200	200 – 1000	>1000
Dikromátos kémiai oxigénigény, KOI_k, mg/l Oldódásos korrózió	MSZ ISO 6060 *) MSZ 12750-21	8 – 350	350 – 1800	>1800

Kémiai jellemző	Vizsgálati módszer	Környezeti osztály		
		XA4(H)	XA5(H)	XA6(H)
Vízben oldott (szabad) agresszív széndioxid (CO_2) mg/l Oldódásos korrózió	MSZ EN 13577 MSZ 448-23	15 – 40	40 – 100	>100
Magnéziumion (Mg^{2+}), mg/l Oldódásos korrózió	MSZ EN ISO 7980 MSZ 260-52 MSZ EN ISO 14911 MSZ 1484-3	100-1000	1000-2500	>2500
Ammóniumion (NH_4^+), mg/l Oldódásos korrózió	MSZ ISO 7150-1 MSZ 260-9 MSZ EN ISO 14911	15-30	30 – 60	>60
SO_4^{2-}-tartalom (SO_3-ban kifejezve), mg/l Oldódásos és duzzadásos korrózió	MSZ EN 196-2 MSZ EN ISO 10304-1	200-600	600 – 1500	>1500

Megjegyzések a NAD 2. táblázathoz

[a] Az 5 napos biokémiai oxigénigényt (BOI5) csak abban az esetben kell meghatározni, ha a dikromátos kémiai oxigénigény (KOI_k) vizsgálati eredményének megbízhatóságával kapcsolatban kétségek merülnek fel. Ebben az esetben a biokémiai oxigénigény vizsgálat eredménye a mértékadó.

[b] Trágyalé esetén a betont az ammónium-ion-tartalomtól (NH_4^+) függetlenül az XA4(H) kémiai korróziós környezeti osztályba szabad sorolni.

[c] Oldódásos korróziót okozó oldatokban előforduló szulfát ionokra vonatkozik. A vizsgálati módszer az SO_4^{2-} sósavval való kivonását írja elő. Alternatívaként alkalmazható szennyvíziszapra vízzel való kivonás is, ha a beton felhasználásának helyén van erre tapasztalat.

[d] *A NAD 2. táblázat akkor vonatkozik a csapadékvizekre, ha azok a betonnal tartósan érintkeznek.*

MSZ 4798:2016 NAD F1. táblázat: Határértékek a beton összetételére	Környezeti osztályok		
	Egyéb agresszív vizek és folyadékok (pl. kommunális, ipari és mezőgazdasági szennyvizek, csapadékvizek, kondenzációs vizek) kémiai korróziós hatása j)p)		
Környezeti osztály jele	XA4(H) k)	XA5(H) l)	XA6(H) m)
Legnagyobb v/c	Kiegészítőanyag adagolása esetén a legnagyobb víz/kötőanyag tényező		
	0,48	0,44	0,40
Legkisebb nyomószilárdsági osztály	C30/35	C35/45	C40/50
Legkisebb cementtartalom , kg/m^3	320, de legfeljebb 350		
Friss beton levegőtartalma, térfogat%	Friss beton tervezett levegőtartalma a NAD F2. táblázat szerinti érték legyen		
Egyéb követelmények	Vízbehatolás legnagyobb mélysége az 5.5.3. szakasz szerint meghatározva, legfeljebb, mm		
	50	35	20
	Az adalékanyag szemmegoszlása (M melléklet) célszerűen az 5.5.3. szakasz szerinti		

Környezeti osztály	Meghatározó agresszív hatóanyagok	Környezeti hatás következménye	Várhatóan a legjobb	Várhatóan jó	Esetleg még jó	Rossz
			megoldás a korrózióállság szempontjából			
XA4(H)	Szulfátok és savak	Betondzzadás és oldódás	CEM I-SR 0 + 18% Mk, CEM I-SR 0 + 11% D, CEM II/B-S-MSR + 5% Mk, CEM II/B-S-MSR + 11% D, CEM II/B-V-MSR + 5% Mk, CEM II/B-V-MSR + 11% D, CEM III/B-SR	CEM I-SR 5 + 18% Mk, CEM I-SR 5 + 11% D, CEM II/A-S-MSR + 11% Mk, CEM II/A-S-MSR + 11% D, CEM II/A-V-MSR + 11% Mk, CEM II/A-V-MSR + 11% D, CEM III/A-MSR	CEM I-SR 5 + 20% V, CEM IV/B-SR	CEM I, ha nem SR és kiegészítőanyag nélkül; CEM II, ha nem MSR és kiegészítőanyag nélkül
XA5(H)			CEM I-SR 0 + 18% Mk, CEM I-SR 0 + 11% D és mindegyikre megfelelő felületi bevonat	CEM I-SR 3 + 18% Mk, CEM I-SR 3 + 11% D, CEM II/B-S-MSR + 5% Mk, CEM II/B-S-MSR + 11% D, CEM II/B-V-MSR + 5% Mk, CEM II/B-V-MSR + 11% D, CEM III/B-SR és mindegyikre megfelelő felületi bevonat	CEM I-SR 5 + 18% Mk, CEM I-SR 5 + 11% D, CEM II/A-S-MSR + 11% Mk, CEM II/A-S-MSR + 11% D, CEM II/A-V-MSR + 11% Mk, CEM II/A-V-MSR + 11% D, CEM III/A-MSR	CEM I, ha nem SR és kiegészítőanyag nélkül; CEM II, ha nem MSR és kiegészítőanyag nélkül

Ajánlás kötőanyagok alkalmazására

Kör-nyezeti osztály	Megha-tározó agresz-szív ható-anyagok	Környezeti hatás következ-ménye	Várhatóan a legjobb	Várhatóan jó	Esetleg még jó	Rossz
			megoldás a korrózióállság szempontjából			
XA5(H)	Savak	Beton	Oldó-dás	CEM III/C és megfelelő felületi bevonat	CEM III/B és megfelelő felületi bevonat	CEM III/B	CEM I, CEM II, CEM III/A
XA6(H)	Szulfátok és savak	Beton	Duzza-dás és oldó-dás	CEM I-SR 0 + 18% Mk, CEM I-SR 0 + 11% D és mindegyikre megfelelő felületi bevonat	CEM I-SR 0 + 18% Mk, CEM I-SR 0 + 11% D és mindegyikre megfelelő felületi bevonat	CEM I-SR 3 + 18% Mk, CEM I-SR 3 + 11% D, CEM II/B-S-MSR + 5% Mk, CEM II/B-S-MSR + 11% D, CEM II/B-V-MSR + 5% Mk, CEM II/B-V-MSR + 11% D, CEM III/B-SR és mindegyikre megfelelő felületi bevonat	CEM I, ha nem SR 0 és kiegészítőanyag nélkül; CEM II, ha nem MSR és kiegészítőanyag nélkül

Ajánlás kötőanyagok alkalmazására

Kör-nyezeti osztály	Megha-tározó agresz-szív ható-anyagok	Környezeti hatás következ-ménye		Várhatóan a legjobb	Várhatóan jó	Esetleg még jó	Rossz
				megoldás a korrózióállság szempontjából			
XA5(H)	Savak		Oldó-dás	CEM III/C és megfelelő felületi bevonat	CEM III/B és megfelelő felületi bevonat	CEM III/B	M II,
XA6(H)	Szulfáto	Betc		CEM I … felületi bevonat	…ndegyikre megfelelő felületi bevonat	…B-S-MSR + 11% D, CEM II/B-V-MSR + 5% Mk, CEM II/B-V-MSR + 11% D, CEM III/B-SR és mindegyikre megfelelő felületi bevonat	CEM I, ha nem SR 0 és kiegészítőanyag nélkül; CEM II, ha nem MSR és kiegészítőanyag nélkül

Az „ajánlás cementek és kiegészítőanyagok alkalmazására kémiai korrózióveszély esetén” egy összefoglaló táblázatban itt érhető el:

http://www.betonopus.hu/notesz/cementek-korroziv-korny.pdf

Ajánlás kötőanyagok alkalmazására

Az ÖNORM B 5017:2000 szabvány szerint a közműépítési beton esetén oldódásos betonkorróziót okoz a talajvíz ≤ 6,5 pH érték, ≥ 15 mg/liter CO_2-tartalom, ≥ 15 mg/liter NH_4^+-tartalom, ≥ 300 mg/liter Mg^{2+}-tartalom és °dH = 0-3 közötti keménység (azaz lágyvíz) esetén, a talaj > 200 mliter/kg savasság esetén (a határértékek lényegében megegyeznek az MSZ EN 206-1:2013+A1:2017 szabvány 2. táblázata szerinti, az XA1 környezeti osztályra vonatkozó értékekkel, a talajvíz keménysége csak az osztrák XA1L környezeti osztály jellemzője).

Az ÖNORM B 5017:2000 osztrák szabványban a szennyvizek megengedett CO_2-tartalma a talajvizekre előírt értéknél kisebb. A szennyvíz és a tisztításából eredő CO_2-tartalma együttes mennyisége az XA2L környezeti osztályban legfeljebb 60 mg/liter, az XA3L környezeti osztályban legfeljebb 100 mg/liter lehet.

Az ÖNORM B 5017:2000 szabvány szerint a közműépítési beton esetén duzzadásos (szulfát-) betonkorróziót okoz a talajvíz ≥ 200 mg/liter SO_4^{2-}-tartalom esetén, és a talaj 2000 mg/kg összes SO_4^{2-}-tartalom esetén (a határértékek megegyeznek az MSZ EN 206:2013+A1:2017 szabvány 2. táblázata szerinti, az XA1 környezeti osztályra vonatkozó értékekkel).

A savak vagy lágy víz okozta *oldódásos korrózió*

Oldódásos betonkorrózióról beszélünk, ha a szilárd betont kívülről folyamatosan savak, illetve savas vizek (például szénsavas gyógyvizek, ún. savanyúvizek) érik, amelyek pH értéke kicsi. A savak hatására a cementkő és a finomszemű karbonátos adalékanyag egy része kioldódik.

A cement bázikus anyag, ezért a különböző cementek majdnem minden összetevője savban oldható, így a cementkövet a szerves és szervetlen savak általában megtámadják. A cementkő bonyolult meszes fázisait a savak vízoldható fázisokká alakítják, amelyek vizes és atmoszférikus hatásokra lebomlanak, oldódnak.

Az esővíz és a lágy víz is képes a cementkő vízoldható összetevőit (szabad kalcium-hidroxid) lassan oldani. Ilyenkor az adalékanyag szemek között a felületen a cementkő egyre inkább korrodálódik, sőt a porózus mészkő vagy dolomit szemek maguk is oldódhatnak.

Esővíz hatására a szabadban lévő beton felülete tíz évente általában 1 mm mélyen oldódik.

A lágy víz kilúgozó hatására a betonban lévő szabad kalcium-hidroxid kioldódása a cementkő többi alkotórészének is a felbomlásához vezethet, amelynek következtében a beton elveszti szilárdságát és szétesik.

Beton szennyvízcsatornák esetén az oldódásos betonkorróziót okozó savak hatására már néhány év alatt jelentős károk keletkezhetnek. Ezt különösen nagyon lassú folyási sebesség és nem megfelelő levegőztetés esetén lehet tapasztalni, mert az eltávozó kén-hidrogén (H_2S) és szerves poliszulfidok (például: $(CH_3)2S$, CH_3SSCH_3) kénsavvá oxidálódnak.

Szennyvíz ülepítő vasbeton medence

A szennyvíz tele van kén vegyületekkel (ettől büdös). A vasbeton medencék, csatornák szennyvíz feletti belső felületén bacilusok tenyésznek.

A bacilusok a szennyvízben lévő kén vegyületek elégetésével tartják fenn szervezetüket, és eközben kén-dioxidot (kénsavat) termelnek. A bacilusok által termelt kénsav szétmarja a medencék és csatornák szennyvíz feletti betonfalát.

Duzzadásos korróziót okozó szulfátion-tartalom beton károsító hatása

Duzzadásos betonkorróziót elsősorban a gipszet vagy más szulfátot tartalmazó vizek, gázok okoznak, amelyek a szilárd betonba hatolva a cementkövet megtámadják, ami új ásványok (kalcium-szulfoaluminát-hidrátok) – mint a *másodlagos ettringit* ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$) vagy a *taumazit* ($CaSiO_3 \cdot CaCO_3 \cdot CaSO_4 \cdot 15H_2O$) – képződéséhez vezet.

Duzzadásos korrózionak kitett betonokat a szulfátion (SO_4^{2-}) tartalom alapján kell környezeti osztályba sorolni.

Szulfátos talajvíz hatására a szilárd cementkő monoszulfát összetevőjéből (egyik trikalcium-aluminát-hidrát fázis) másodlagos ettringit képződés indul el. A másodlagos ettringit kristályosodása során a térfogatát mintegy 2,5-szeresére növeli, és ezeknek a kristályoknak a jelentős duzzadása a betont szétrepeszti. Ezeket a tűkristályokat cementbacilus-nak is nevezik.

Összegezve: A betonra káros vegyi hatások különbözősége nem engedi meg, hogy általában a kemikáliáknak ellenálló betonról beszéljünk. Minden egyes esetben tisztázni kell, hogy a betonra várhatóan milyen agresszív anyagok fognak hatni, és ennek megfelelően kell a beton összetételét megtervezni és a betont összeállítani.

Ez mindenféle betonkorrózióra igaz, hangsúlyozva, hogy a például a CEM II/A-L és a CEM II/B-L típusú mészkőliszt-portlandcementet az XA1L, XA2L és XA3L oldódásos korrózió (Lösender Angriff) környezeti osztályában szabad, de az XA1T, XA2T és XA3T duzzadásos szulfátkorróziós (Treibender Angriff) környezeti osztályban nem szabad használni (ÖNORM B 4710-1:2007 osztrák szabvány).

Az XA4(H) környezeti osztályban CEM I-SR vagy CEM II/A-S vagy CEM II/A-MSR portlandcement alkalmazása ajánlott, mindegyik metakaolin vagy szilikapor kiegészítőanyaggal, vagy CEM III/A-MSR vagy CEM III/B-SR kohósalakcement alkalmazása ajánlott, a kohósalakcementek kiegészítőanyag nélkül.

f) Az XA5(H) környezeti osztályban CEM I-SR 3 vagy CEM I-SR 0 portlandcement vagy alkalmazása ajánlott, mindegyik metakaolin vagy szilikapor kiegészítőanyaggal, vagy CEM III/B-SR vagy CEM III/C-SR kohósalakcement alkalmazása ajánlott, a kohósalakcementek kiegészítőanyag nélkül.

g) Az XA6(H) környezeti osztályban CEM I-SR 0 portlandcement alkalmazása ajánlott metakaolin vagy szilikapor kiegészítőanyaggal, vagy CEM III/C-SR kohósalakcement alkalmazása ajánlott kiegészítőanyag nélkül.

Metakaolin alkalmassága

Az A típusú metakaolin feleljen meg az MSZ 4798:2016 szabvány NAD 5.1. táblázata követelményeinek.

Az A típusú metakaolin megengedett adagolása betonba:

CEM I fajtájú portlandcement esetén: metakaolin-tartalom/kötőanyag-tartalom ≤ 0,15, amely határérték 0,15/0,85 = 0,18 metakaolin tartalom)/cement- tartalom határértéknek felel meg;

CEM II fajtájú portlandcement esetén, metakaolin-tartalom/kötőanyag-tartalom ≤ 0,10, amely határérték 0,1/0,9 = 0,11 metakaolin-tartalom/cement-tartalom határértéknek felel meg.

Metakaolint a CEM II/A-D fajtájú szilikapor-portlandcementhez, a CEM II/A-Q fajtájú kalcinált puccolán-portlandcementhez, a CEM II/A-M fajtájú kompozit-portlandcementhez, a mérsékelten szulfátálló CEM II/A-D-MSR fajtájú szilikapor-portlandcementhez és a mérsékelten szulfátálló CEM II/A-M-MSR fajtájú kompozit-portlandcementhez nem szabad keverni.

NAD. 5.1. táblázat: Követelmények a betonba adagolható a típusú metakaolinra

Összetevő	Vizsgálat	Követelmény
(SiO_2 + Al_2O_3) tartalom, tömeg%	MSZ EN 196-2	> 90
Cl^- iontartalom, tömeg%	MSZ EN 480-10	< 0,1
SO_3^{2-} iontartalom, tömeg%	MSZ EN 196-2	< 1,0
Szabad CaO tartalom, tömeg%	MSZ EN 451-1	< 1,0
Na_2O egyenérték	MSZ EN 196-2	Meg kell adni
MgO tartalom, tömeg%	MSZ EN 12485 MSZ 12736-8	< 4,0
Izzítási veszteség, tömeg%	MSZ EN 196-2	< 4,0
Metilénkék-érték, g/kg	MSZ EN 933-9	< 10
Aktivitási index, %	Lásd a következő diát	110
Összes, metakaolin által megkötött kalcium-hidroxid	Lásd	> 700 (mg kalcium-hidroxid)/(g metakaolin)
0,063 mm nyílású szitán áthullott anyag mennyisége, tömeg%	MSZ EN 933-1	≥ 90
Vízigény hányados	Lásd a következő diát	> 1,15

a) Az aktivitási index a CEM I 42,5 jelű portlandcement és a megengedett adagolású metakaolin keverékével az MSZ EN 196-1 szabvány szerint készített 40×40×160 mm méretű habarcs próbahasábokon és az ugyan ilyen méretű, kizárólag CEM I 42,5 jelű portlandcementtel ugyancsak az MSZ EN 196-1 szabvány szerint készített etalon-habarcs próbahasábokon, 28 napos korban az MSZ EN 196-1 szabvány szerint mért átlagos nyomószilárdságok hányadosa.

b) A metakaolin által megkötött kalcium-hidroxidot az NF P 18-513 szabvány A. függeléke szerint kell vizsgálni.

c) A vízigény hányadoson az MSZ EN 196-3 szabvány szerinti szabványos folyósságú kötőanyagpép és cementpép víztartalmának hányadosát kell érteni, amelyet 85 tömeg% cement + 15 tömeg% metakaolin összetételű kötőanyag-keveréken, és 100 tömeg%-ban cementtartalmú kötőanyagon kell meghatározni.

A *k*-érték elve az NF P 18513 szabvány szerinti A típusú szerinti metakaolinra

Az NF P 18513 szabvány szerinti A típusú metakaolint a víz-kötőanyag tényezőben és a kötőanyag-tartalomban k = 1,0 értékkel szabad figyelembe venni.

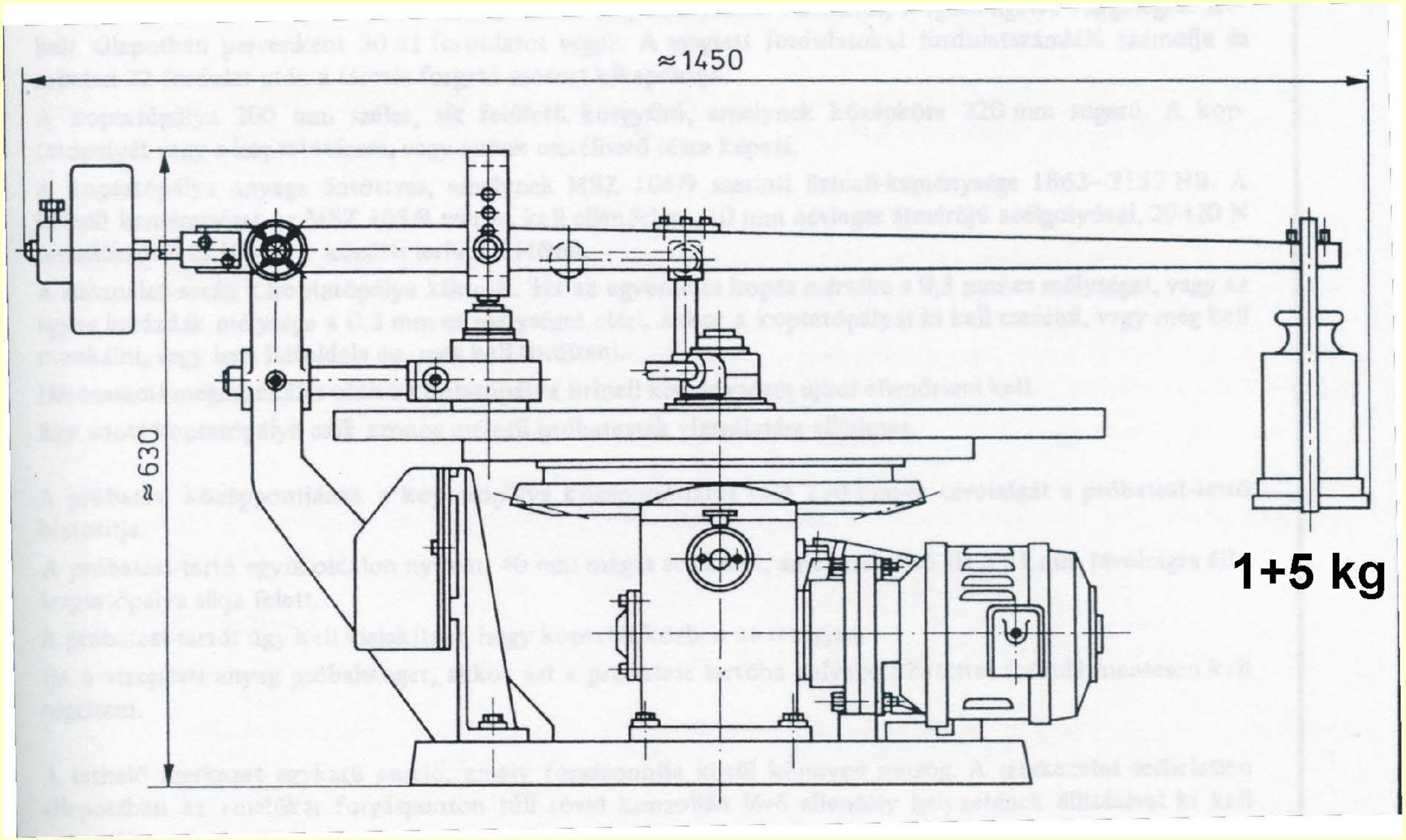
KOPÁSÁLLÓSÁG

MSZ 4798:2016 1. táblázat: 7. Koptató hatás okozta korrózió Amikor a beton csiszoló, csúszó, gördülő, súrlódó igénybevétel, ütés vagy vízáramlás alatt mozgatott gördülő hordalék koptató hatása éri, akkor az ezekből származó igénybevételt a következők szerint kell osztályozni:		
XK1(H)	Könnyű szemcsés anyagok koptató igénybevétele. Gyalogos forgalom, fúvott kerekes járművek koptató igénybevétele	Könnyű adalékanyagok, termények stb. tárolására alkalmas silók, bunkerek, tartályok; járdák, lépcsők, garázspadozatok.
XK2(H)	Gördülő igénybevétel okozta koptató hatás nehéz terhek alatt, tömör gumi kerekes járművek.	Betonút, görgetett hordalékkal érintkező betonfelületek, villástargonca forgalom.
XK3(H)	Csúsztató-gördülő igénybevétel okozta koptató hatás igen nehéz terhek alatt, acél kerekes targonca forgalom.	Repülőtéri le- és felszálló pályák, valamint gurulóutak, nehézipari szerelőcsarnokok, konténerátrakó állomások.
XK4(H)	Csúsztató-gördülő igénybevétel okozta koptató hatás igen nehéz terhek alatt, nagy felületi pontosság és pormentesség igénye esetén.	Nehéz terheknek, hernyótalpas járműnek kitett térburkolatok, csarnokok és raktárak betonja. Kemény felületű, pormentes ipari padlóburkolatok. KÉREGERŐSÍTÉS NÉLKÜL

MSZ 4798:2016 NAD F1. táblázat: Határértékek a beton összetételére	Környezeti osztályok			
	Igénybevétel **koptatás** hatására			
Környezeti osztály jele	XK1(H)	XK2(H)	XK3(H)	XK4(H)
Legnagyobb v/c	0,50	0,45	0,40	0,38
Legkisebb nyomó-szilárdsági osztály	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55
Legkisebb cementtartalom, kg/m^3	310	330	350	370
4 mm feletti adalékanyag	*Kavics Zúzottkő*	*Kavics Zúzottkő*	*Zúzottkő*	*Zúzottkő*
Friss beton levegőtartalma, térfogat%	Friss beton tervezett levegőtartalma a NAD F2. táblázat szerinti érték legyen			
***Böhme*-féle koptatás**	Kopási térfogatveszteség , legfeljebb, cm^3			
Száraz/Vizes koptatás	14/21	12/18	10/16	8/14

A Böhme-féle kopásállóság vizsgálat elve:

A 294,3 N erővel [(6 kg teher)·(5-szörös áttétel) = 30 kp] terhelt próbatestet percenként 30 fordulatot végző öntöttvas korongon, 487 m hosszú úton, legalább 95 tömeg% alumíniumoxid tartalmú, (~0,12-0,15 mm szemnagyságú) korund porral kell koptatni szárazon vagy vizesen. A tárcsa körülfordulásainak száma (16 periódus)× ×(22 fordulat) = 352 körülfordulás. A koptatópor mennyisége 20±0,1 g/periódus. A kopás mértékét térfogatveszteségben kell kifejezni.

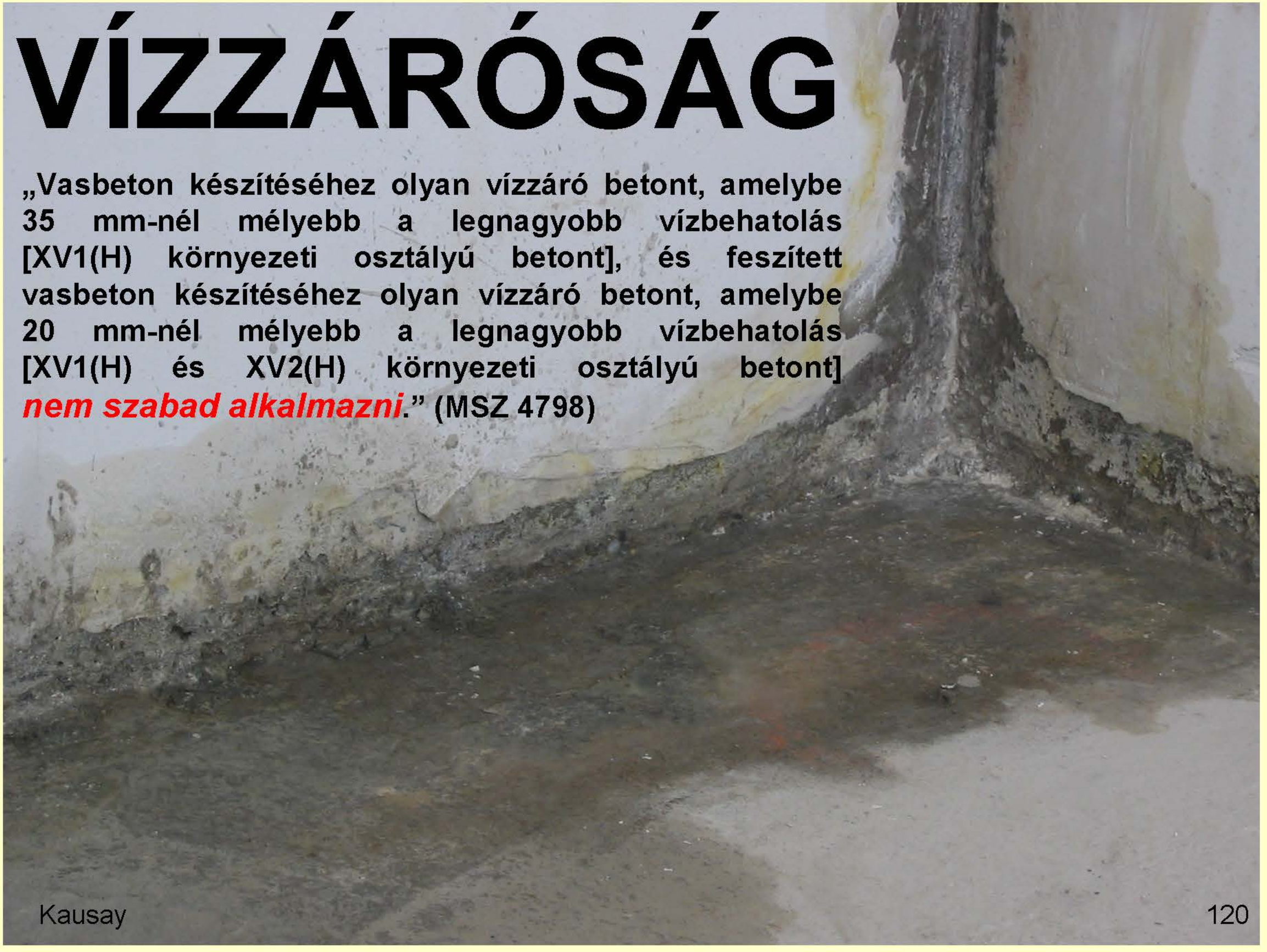


MSZ 18290-1:1981 szerinti *Böhme*-féle koptatógép

MSZ 18290-1:1981 szerinti *Böhme*-féle koptatógép

VÍZZÁRÓSÁG

„Vasbeton készítéséhez olyan vízzáró betont, amelybe 35 mm-nél mélyebb a legnagyobb vízbehatolás [XV1(H) környezeti osztályú betont], és feszített vasbeton készítéséhez olyan vízzáró betont, amelybe 20 mm-nél mélyebb a legnagyobb vízbehatolás [XV1(H) és XV2(H) környezeti osztályú betont] *nem szabad alkalmazni*.” (MSZ 4798)



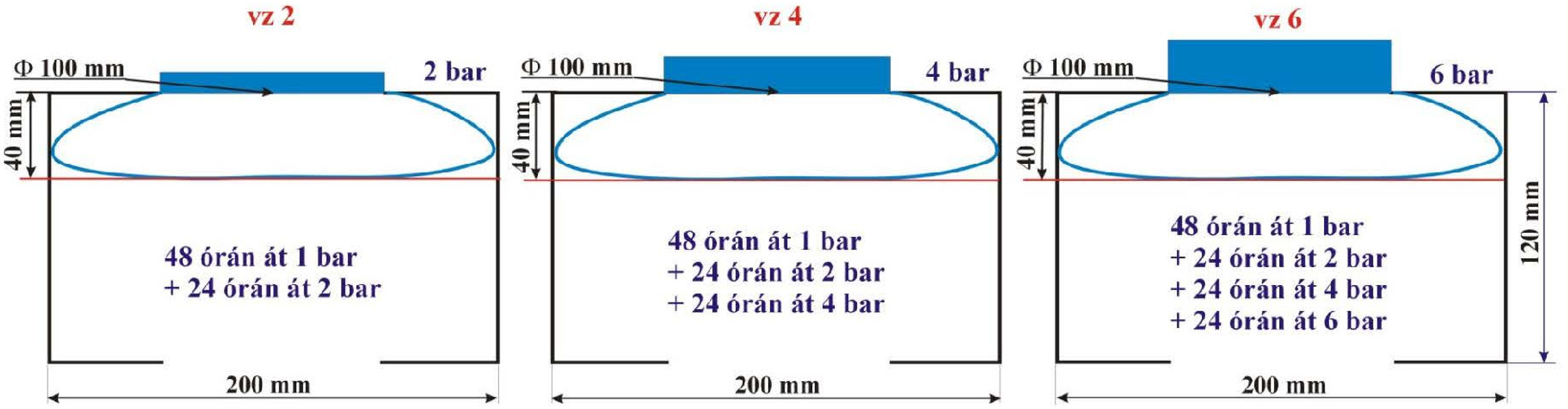
MSZ 4798:2016 1. táblázat: 8. Igénybevétel víznyomás hatására Amikor a betont víznyomás éri, akkor az igénybevételt a következők szerint kell osztályozni:		
XV1(H)	Kis víznyomásnak kitett, (vz50 jelű) vízzáró beton, amely általában megfelel az állandóan legfeljebb 2 méter magas (0,02 N/mm² = 0,2 bar) víznyomás hatásának kitett helyen	Pincefal, csatorna, legfeljebb 2 m magas víztároló medence, áteresz, csapadékcsatorna, záportározó, esővízgyűjtő akna
XV2(H)	Fokozott víznyomásnak kitett, (vz35 jelű) közepesen vízzáró beton, amely általában megfelel az állandóan legfeljebb 10 méter magas (0,1 N/mm² = 1,0 bar) víznyomás hatásának kitett helyen	Vízépítési szerkezetek, gátak, partfalak, legfeljebb 10 magas víztároló medence, föld alatti garázsok, aluljárók külső határoló szerkezetei, külön szigetelőréteg nélkül.
XV3(H)	Nagy víznyomásnak kitett, (vz20 jelű) igen vízzáró beton, amely általában megfelel az állandóan legalább 10 méter magas (0,1 N/mm² = 1,0 bar) víznyomás hatásának kitett helyen	Vasbeton mélygarázsok, alagutak külső határoló szerkezetei, külön szigetelőréteg nélkül.

MSZ 4798:2016 NAD F1. táblázat: Határértékek a beton összetételére	Környezeti osztályok		
	Igénybevétel víznyomás hatására		
Környezeti osztály jele	XV1(H)	XV2(H)	XV3(H)
Legnagyobb v/c	0,55	0,50	0,45
Legkisebb nyomószilárdsági osztály	C25/30	C30/37	C30/37
Legkisebb cementtartalom, kg/m^3	300	300	300
Friss beton levegőtartalma, térfogat%	Friss beton tervezett levegőtartalma a NAD F2. táblázat szerinti érték legyen		
Egyéb követelmények	Vízbehatolás legnagyobb mélysége az 5.5.3. szakasz szerint, mm		
	50	35	20

Az MSZ EN 206:2013+A1:2017 betonszabvány és annak nemzeti alkalmazási dokumentuma, az MSZ 4798:2016 szabvány értelmében a beton vízzáróságát az MSZ EN 12390-8:2009 szabvány szerint kell vizsgálni. Az MSZ 4798:2016 szabvány szerint a beton akkor vízzáró, ha a szabványosan végzett vizsgálat során, 5 bar víznyomás mellett a vízbehatolás mélysége az XV1(H) környezeti osztályban *legfeljebb 50 mm*, az XV2(H) környezeti osztályban *legfeljebb 35 mm*, az XV3(H) környezeti osztályban *legfeljebb 20 mm*.

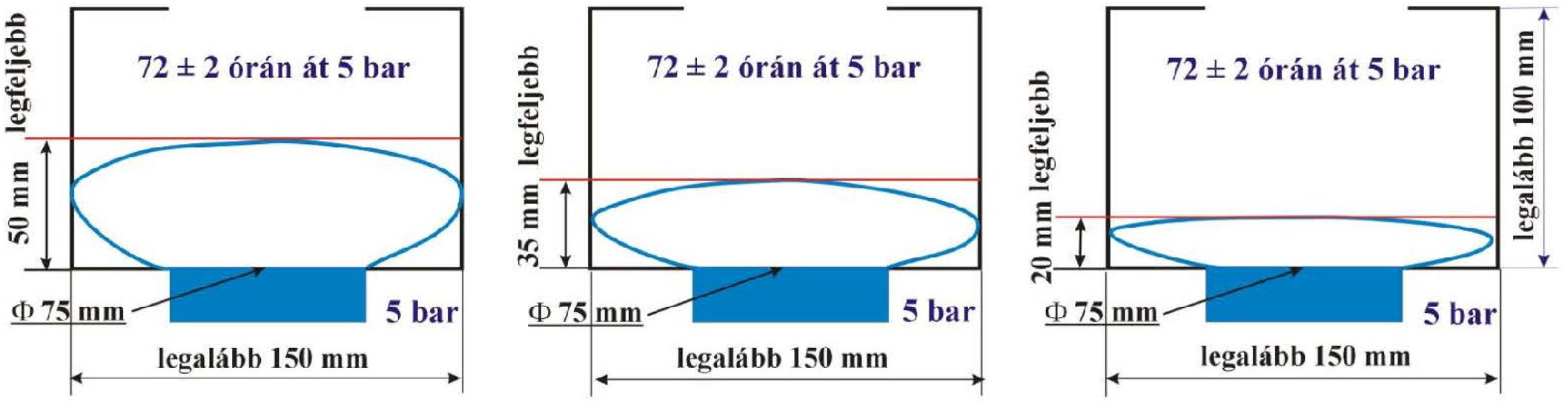
A próbatestek állapota: légszáraz

Vízzáróság vizsgálat az MSZ 4715-3:1972 szabvány szerint

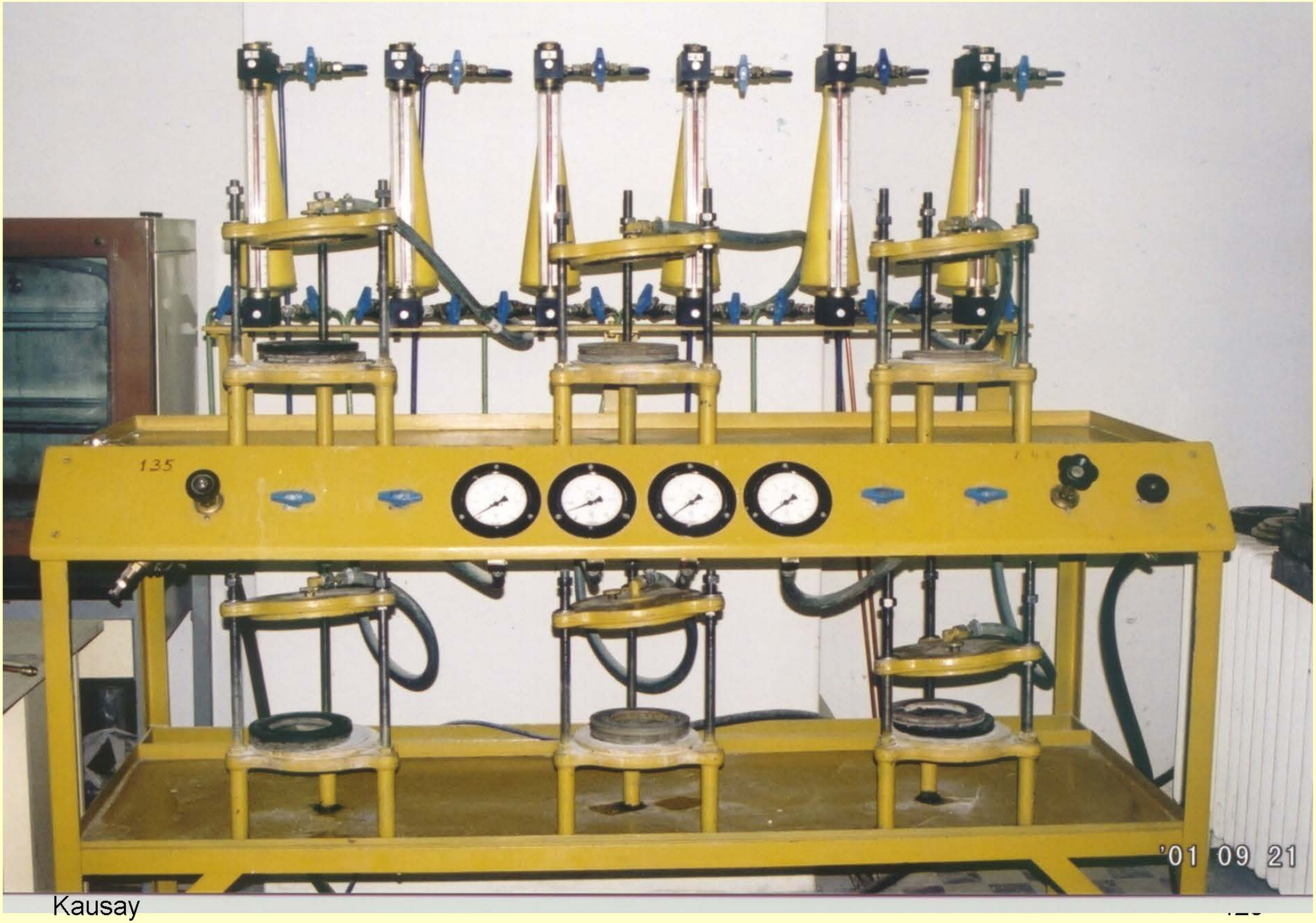


A próbatestek állapota: vízzel telített

Vízzáróság vizsgálat az MSZ EN 12390-8:2009, illetve az MSZ 4798:2016 szabvány szerint



5 bar víz-túlnyomás = 5 att = 6 ata **5 bar = 50 H_2O m = 50 N/cm^2 = 0,5 MPa = 0,5 N/mm^2**



Kausay

Vízzáróság vizsgálatra előkészített 200*200*120 mm méreteű beton próbatest
Kausay

Vízzáróság vizsgálat után kettéhasított 200*200*120 mm méretű beton próbatest

Kausay

Ha a beton, vasbeton vagy feszített vasbeton szerkezeti elemet nem éri víznyomás, de légköri nyomáson, állandóan nedves környezetben van, akkor nem kell vízzáró betont készíteni, illetve a betont nem kell XV1(H)-XV3(H) környezeti osztályba sorolni. Ilyen például a talajnedvességnek, talajpárának kitett alapozás vagy pincefal, vagy olyan mélygarázs, amelynek környezetében például vízelszívással tartósan megszüntették a víznyomást.

A nedves környezetű, de víznyomásnak ki nem tett beton vagy vasbeton szerkezeti elemet alkotó betont, ha a beton vízfelvétele ≤ 4,0 tömeg% akkor az XC2 környezeti osztályba, ha a beton vízfelvétele > 4,0 tömeg% és ≤ 6,0 tömeg%, akkor az XC3 környezeti osztályba szabad sorolni.

A nedves környezetű, de víznyomásnak ki nem tett feszített vasbeton szerkezet betonja XC3 környezeti osztályba sorolható, ha a beton vízfelvétele ≤ 2,0 tömeg%.

Fenti besorolásokhoz a beton vízfelvételét fokozatos vízbemerítéssel az MSZ EN 1917:2003 aknaszabvány D melléklete szerint kell meghatározni, azzal a különbséggel, hogy

- a próbatest sablonban készített legalább 100 mm élhosszúságú (≥ 32 mm legnagyobb adalékanyag szemnagyság esetén 150 mm élhosszúságú) próbakocka, amelyet az MSZ EN 12390-2 szerint sablonban legalább 16 órán át, de 3 napnál nem hosszabb ideig (20 ± 5) °C hőmérsékleten sablonban, majd a sablonból kivéve közvetlenül a vizsgálatig (20 ± 2) °C hőmérsékletű vízben vagy (20 ± 2) °C hőmérsékletű és legalább 95 %-os relatív páratartalmú klímakamrában kell tárolni;

- a próbakocka a vizsgálat kezdetén 28 napos korú legyen;

- a tömegállandóságig kiszárított beton próbatest tömegének meghatározása során a kiszárítást (60 ± 5) °C hőmérsékleten kell végezni.

Köszönöm szépen a figyelmet
2007/4/6 18:01

Lásd a frissebb (2020.) dolgozatot is!

Frissítve: 2011. január

Betonok környezeti osztályai

Dr. KAUSAY Tibor
okl. vasbetonépítési szakmérnök, címzetes egyetemi tanár

Budapesti Műszaki Egyetem, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék
H-1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3.
Telefon/fax: (36-1) 217-4165 e-mail: betonopu@t-online.hu http://www.betonopus.hu

A cikk megjelent az EMT Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság által Csíksomlyón, 2009. június 11-14 között rendezett, ÉPKO 2009 XIII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia konferencia-kiadványában (szerkesztő: Dr. Köllő Gábor egyetemi tanár), a 216-223. oldalon.

Összefoglaló
Az EN 206-1:2000 európai szabvány a legalább 50 évre tervezett beton tartóssági követelményének kielégítésére környezeti osztályok alkalmazását írja elő. Az európai szabvány magyar nemzeti alkalmazási feltételeit az MSZ 4798-1:2004 szabvány tárgyalja. Az utóbbi a környezeti osztályokat értelmezi és azok követelményeit magyar szempontoknak megfelelően kibővíti. Ilyen bővítmények a kis szilárdságú betonokra, a légbuborék nélküli fagyálló betonokra, a kopásálló betonokra, a vízzáró betonokra és végül a friss betonok levegőtartalmára bevezetett magyar nemzeti követelmények.

Kulcsszavak
Beton, tartósság, környezeti osztály, európai szabvány, magyar szabvány

1. KÖRNYEZETI OSZTÁLYOK

A beton, vasbeton, feszített vasbeton szerkezet és a készítéséhez használt beton akkor tartós, ha az erőtani és alakváltozási igénybevételeket, valamint a környezeti hatásokat üzemszerű használat és megfelelő karbantartás mellett a tervezett használati élettartam alatt károsodás nélkül viseli. Az EN 1992-1-1:2005 (Eurocode 2) a tervezett használati élettartamot az EN 1990:2005 szabvány 2.3. fejezete alapján írja elő, amely szerint az előírt tervezett használati élettartam a végleges jellegű épületek és egyéb szokásos tartószerkezetek esetén legalább 50 év, az ún. monumentális építmények (például hidak, útpályaszerkezetek, vízépítési műtárgyak, stb.) esetén legalább 100 év. Az EN 1992-1-1:2005 (Eurocode 2) szabvány a betonacélok és a feszítőbetétek korrózió elleni védelme érdekében úgy rendelkezik, hogy a 100 év tervezett használati élettartamú építmények esetén a legkisebb betonfedés 10 mm-rel nagyobb kell legyen, mint az 50 év tervezett használati élettartamú építményekre előírt érték.

A beton tartóssága érdekében az EN 206-1:2000 szabvány 4. fejezete környezeti osztályokat vezet be, és ezek követelményeire az F. mellékletben ad ajánlást. E követelmények betartásával 50 év beton használati élettartam várható. Az MSZ 4798-1:2004 betonszabvány – amely az MSZ EN 206-1:2002 honosított európai szabvány magyar nemzeti alkalmazási dokumentuma (NAD) – a környezeti osztályokat a kis szilárdságú betonokra, a légbuborék nélküli fagyálló betonokra, a kopásálló betonokra, a vízzáró betonokra és a friss betonok tömörségére is kiterjeszti, és a környezeti osztályok alkalmazását és a követelmények betartását az európai szabványt meghaladó módon kötelezővé teszi. Ezt a rendelkezést gyengíti, hogy a magyar követelmények közé hiba is csúszott, amelynek kijavítására és egyéb fontos kiegészítésekre eddig sajnos nem adódott szabványmódosítási lehetőség.

A jelenlegi felfogásnak megfelelő magyar környezeti osztályok és követelmények a legalább 50 év tervezett használati élettartamú betonokra az *1. táblázatban* találhatók.

Beton környezeti osztályai *1. táblázat*

Alkalmazási terület	Környezeti osztály jele	Beton nyomó-szilárdsági osztálya, legalább [1)]	Beton cement-tartalma, legalább, kg/m^3	Beton víz-cement tényezője, legfeljebb	Friss beton levegő-tartalma, legfeljebb, térfogat% [2)]
Környezeti hatásoknak ellen nem álló, azoknak ki nem tett beton szerkezetek					
Környezeti hatásoknak (nedvesség, karbonátosodás, kloridhatás, fagyás/olvadás, kémiai korrózió, koptatóhatás vagy víznyomás) nem ellenálló beton	XN(H)	C8/10	(165) [3)]	(0,90) [3)]	(2,5) [3)]
	A beton szilárdsági szempontból alárendelt jelentőségű Például: Aljzatbeton, beton alapréteg, cement-stabilizáció				
	X0b(H)	C12/15	(230) [3)]	(0,75) [3)]	(2,0) [3)]
	Például: Vasalatlan alapbeton, kitöltő és kiegyenlítő beton, üreges födémbéléstest, üreges válaszfallap, üreges zsaluzóelem, kétrétegű járdalap hátbetonja, kétrétegű útburkolóelem hátbetonja, üreges pince-falazóelem, belső főfali üreges főfal-falazóelem, belső főfali tömör főfal-falazóelem				
Környezeti hatásoknak ellen nem álló, azoknak ki nem tett vasbeton szerkezetek					
Környezeti hatásoknak nem ellenálló vasbeton, legfeljebb 35% relatív páratartalmú vagy levegőtől elzárt, száraz helyen lévő vasbeton	X0v(H)	C20/25 *	(250) [3)]	(0,70) [3)]	(2,0) [3)]
	* Megjegyzés: Az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint C20/25 nyomószilárdsági osztályúnál gyengébb betonból vasbetont készíteni nem szabad. Például: Vasalt alapbeton				
Karbonátosodásnak ellenálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek					
Száraz vagy tartósan nedves helyen, állandóan víz alatt	XC1	C20/25	260	0,65	2,0
	Például: Belső pillér, belső födém				
Nedves, ritkán száraz helyen	XC2	C25/30	280	0,60	2,0
	Például: Épületalap, támfalalap, mélyalap, kiegyenlítő lemez				
Mérsékelten nedves helyen, nagy relatív páratartalmú épületben vagy a szabadban, esőtől védett helyen	XC3	C30/37	280	0,55	2,0
	Például: Fürdőépület szerkezete				
Váltakozva nedves és száraz, víznek kitett helyen	XC4	C30/37	300	0,50	2,0
	Például: Szárnyfal, pincefal, fúrt cölöp, cölöp-fejgerenda				
Kloridoknak ellenálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek					
Mérsékelten nedves helyen, levegőből származó kloridoknak kitett, de jégolvasztó sóknak ki nem tett, korrózióálló beton	XD1	C30/37	300	0,55	2,0
	Például: Vegyipari üzemek környezetében, a szabadban lévő szerkezetek				
Nedves, ritkán száraz helyen, vízben lévő kloridoknak kitett, de jégolvasztó sóknak ki nem tett, korrózióálló beton	XD2	C30/37	300	0,55	2,0
	Például: Alépítmény, szárnyfal, kloridtartalmú talajvízzel vagy ipari vízzel érintkező építmény, medence, úszómedence				
Váltakozva nedves és száraz helyen, jégolvasztó kloridok permetének kitett korrózióálló beton	XD3	C35/45	320	0,45	2,0
	Magyarországon a fagy/olvadási ciklusoknak és jégolvasztó sóknak kitett betonokat az XD3 környezeti osztály helyett az XF4 környezeti osztályba kell sorolni. Például: Hídelemek, járdák, parkolóházak és garázsok burkolata				

1. táblázat folytatódik

1. táblázat folytatása

Alkalmazási terület	Környezeti osztály jele	Beton nyomó-szilárdsági osztálya, legalább [1)]	Beton cement-tartalma, legalább, kg/m^3	Beton víz-cement tényezője, legfeljebb	Friss beton levegő-tartalma, legfeljebb, térfogat% [2)]
Függőleges felületű fagyálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek					
Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli fagyálló beton	XF1	C30/37	300	0,55	1,5
	Légbuborékképző adalékszer nélkül készül a beton. Például: Monolit és előregyártott szerkezetek				
Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sók permetének kitett fagyálló beton	XF2	C25/30	300	0,55	4,0 – 8,0
	Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton. Az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke a friss betonban = a fagy- és olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4,0 térfogat%) + max. 4,0 térfogat%. Példa: Útépítési szerkezetek				
Függőleges felületű, mérsékelt víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sók permetének kitett fagyálló beton	XF2(BV-MI)	C35/45	320	0,50	1,0
	Légbuborékképző adalékszer *nélkül* készül a beton. Például: Monolit és előregyártott szerkezetek Alkalmazása út- és repülőtéri burkolatok, híd pályalemezek esetén **tilos!**				
Vízszintes felületű fagyálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek					
Vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli fagyálló beton	XF3	C30/37	320	0,50	4,0 – 8,0
	Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton. Az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke a friss betonban = a fagy- és olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4,0 térfogat%) + max. 4,0 térfogat%. Példa: Útépítési szerkezetek, híd pályalemezek				
Vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli fagyálló beton	XF3(BV-MI)	C35/45	320	0,50	1,0
	Légbuborékképző adalékszer *nélkül* készül a beton. Például: Monolit és előregyártott szerkezetek Alkalmazása út- és repülőtéri burkolatok, híd pályalemezek esetén **tilos!**				
Vízszintes felületű, nagy víztelítettségű, fagynak és jégolvasztó sóknak közvetlenül kitett, fagyálló beton	XF4	C30/37	340	0,45	4,0 – 8,0
	Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton. Az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke a friss betonban = a fagy- és olvasztósó-álló betonra előírt legkisebb érték (4,0 térfogat%) + max. 4,0 térfogat%. Például: Útpályabeton, repülőtéri kifutópálya, híd pályalemezek				
Talaj és talajvíz kémiai korróziójának ellenálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek					
Agresszív talajjal vagy talajvízzel érintkező, enyhén korrózióálló beton	XA1	C30/37	300	0,55	2,0
	Bármely MSZ EN 197-1:2000 szerinti CEM II fajtájú kohósalak-portlandcement Például: Fúrt cölöp				
Agresszív talajjal vagy talajvízzel érintkező, mérsékelten korrózió- és szulfátálló beton	XA2	C30/37	320	0,50	2,0
	MSZ 4737-1:2002 szerinti CEM I vagy CEM II fajtájú MS jelű mérsékelten szulfátálló vagy S jelű szulfátálló portlandcement vagy CEM III/A fajtájú MS jelű kohósalakcement vagy CEM III/B szulfátálló kohósalakcement Például: Fúrt cölöp				

1. táblázat folytatódik

Alkalmazási terület	Környezeti osztály jele	Beton nyomó-szilárdsági osztálya, legalább [1)]	Beton cement-tartalma, legalább, kg/m^3	Beton víz-cement tényezője, legfeljebb	Friss beton levegő-tartalma, legfeljebb, térfogat% [2)]
Talaj és talajvíz kémiai korróziójának ellenálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek					
Agresszív talajjal vagy talajvízzel érintkező, erősen korrózió- és szulfátálló beton	XA3	C35/45	360	0,45	2,0
	MSZ 4737-1:2002 szerinti CEM I vagy CEM II fajtájú S jelű szulfátálló portlandcement vagy CEM III/B fajtájú szulfátálló kohósalakcement Például: Fúrt cölöp, agresszív anyagok tárolótere				
Kopásálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek					
Mérsékelten kopásálló, k14/21 jelű kavics- vagy zúzottkőbeton	XK1(H)	C30/37	310	0,50	2,0
	Például: Siló, bunker, tartály könnyű anyagok tárolására, garázspadozat, lépcső, járólap, kopásálló réteggel ellátott ipari padlóburkolat kopásálló réteg nélkül				
Kopásálló, k12/18 jelű zúzottkőbeton	XK2(H)	C35/45	330	0,45	2,0
	Például: Nehéz anyagok tárolója, gördülő hordalékkal érintkező beton, egyrétegű járdalap és monolit járda, kétrétegű járdalap kopórétege, közönséges útszegélyelem, lépcső, vasbeton lépcső, aknafedlap				
Fokozottan kopásálló, k10/15 jelű zúzottkőbeton	XK3(H)	C40/50	350	0,40	2,0
	Például: Egyrétegű útburkolóelem, kétrétegű útburkolóelem kopórétege, kopásálló útszegélyelem, vasalatlan útpályaburkolat, repülőtéri pályaburkolat, konténer átrakó állomás térburkolata				
Igen kopásálló, k8/12 jelű zúzottkőbeton	XK4(H)	C45/55	370	0,35	2,0
	Például: Ipari padlóburkolat, amelyre nem kerül kopóréteg				
Különlegesen kopásálló, k6/9 jelű zúzottkőbeton	XK5(H)	C50/60	390	0,35	1,0
	Például: Vibropréselt térburkolóelem				
Vízzáró beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek					
vz60 jelű vízzáró beton	XV1(H)	C25/30	300	0,60	1,0
	Például: Pincefal, csatornafal, mélyalap, áteresz, folyóka, surrantóelem, mederlap, mederburkolóelem, rézsűburkolat, legfeljebb 1 m magas víztároló medence, záportározó, esővízgyűjtő akna				
vz40 jelű fokozottan vízzáró beton	XV2(H)	C30/37	300	0,55	1,0
	Például: Vízépítési szerkezetek, gátak, partfalak, 1 m-nél magasabb víztároló medence, föld alatti garázs, aluljáró külön szigetelőréteg nélkül, földalatti alaptestek, kiegyenlítő lemezek				
vz20 jelű igen vízzáró beton	XV3(H)	C30/37	300	0,50	1,0
	Például: Mélygarázs, mélyraktár, alagút külön szigetelőréteg nélkül				

MEGJEGYZÉS:

[1)] Az MSZ 4798-1 szabvány szerinti F1. táblázatban szereplő legkisebb (itt legalább) *nyomószilárdsági osztály tájékoztató adat.*
Lásd még az 1.2. fejezetet.

[2)] A friss beton levegőtartalma feszített vasbeton esetén a táblázatban szereplő értékeknél 0,5 térfogat%-kal legyen kisebb. Ha a beton újrahasznosított adalékanyaggal készül, akkor a friss beton levegőtartalma a táblázatban szereplő értékeknél 0,5 térfogat%-kal nagyobb lehet.

[3)] Ajánlott értékek.

1. táblázat folytatódik

1. táblázat folytatása

Előírások az osztrák ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 5.4.3. és 5.5.5. szakaszában, valamint NAD 10. táblázatában a légbuborékos fagy- és olvasztósó-álló betonok levegőtartalmára és légbuboréktartalmára		
Környezeti osztály	XF2 és XF3	XF4
Összes levegőtartalom a *friss cementpépben*, legalább, térfogat%	9,0	13,0
Összes levegőtartalom a *friss betonban*, legalább, térfogat%	2,5	4,0
Összes levegőtartalom a *friss betonban*, legfeljebb, térfogat%	2,5 + 4,0 = 6,5 *	4,0 + 4,0 = 8,0
Legnagyobb szemnagyság, mm	Összes levegőtartalom a *friss betonban*, térfogat%	
4	4,0 – 6,0	7,0 – 11,0
8 és 11 (12)	4,0 – 6,0	6,0 – 10,0
16	3,0 – 5,0	4,5 – 8,5
22 (24) és 32	2,5 – 5,0	4,0 – 8,0
63	2,0 – 4,0	3,0 – 7,0
* Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 5.4.3. szakasza és NAD 10. táblázata szerint az XF2 és XF3 környezeti osztályban az összes levegőtartalom megengedett legnagyobb értéke 5,0 térfogat%, hacsak a kezdeti vizsgálat során meg nem győződtek arról, hogy a betonra vonatkozó valamennyi követelmény nagyobb levegőtartalom esetén is betartható.		
0,3 mm-nél kisebb névleges átmérőjű (hatékony) légbuborékok mennyisége a *szilárd betonban* (jele: L300), térfogat%	1,0 – 3,0 **	1,8 – 5,0
Távolsági tényező a *szilárd betonban* (jele: AF), legfeljebb, mm	–	0,18
** Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 5.5.5. szakasza szerint az XF2 és XF3 környezeti osztályban a hatékony légbuborékok mennyisége akkor lehet 3,0 térfogat%-nál több, ha az 5,0 térfogat% feletti összes levegőtartalom ártalmatlanságát igazolták.		
Előírások a német DIN 1045-2:2008-08 szabvány F mellékletében (előírás) található F.2.1 és F.2.2 táblázata szerint a légbuborékos fagy- és olvasztósó-álló betonok levegőtartalmára és légbuboréktartalmára		
A DIN 1045-2:2008-08 szabvány F.2.1 és F.2.2 táblázatának d) megjegyzése szerint, ha az XD, XA2, XA3 vagy XM (magyar megfelelője: XK) környezeti osztályú beton egyidejűleg XF2, XF3 vagy XF4 környezeti osztályú légbuborékos beton is, akkor a beton elvárt nyomószilárdsági osztálya a – táblázat szerint az XD, XA2, XA3 vagy XM környezeti osztályban – megkövetelt legkisebb értékénél egy osztállyal kisebb. Ehhez azonban meg kell jegyezni, hogy a DIN 1045-2:2008-08 szabvány F.2.1 táblázatában az XD2 környezeti osztályban legalább C35/45 nyomószilárdsági osztályt, legalább 320 kg/m^3 cement-tartalmat, legfeljebb x = 0,50 víz-cement tényezőt írnak elő. Az XA2 környezeti osztályban a megkövetelt nyomószilárdsági osztály legalább C35/45, az XA3 környezeti osztályban a megkövetelt cement-tartalom legalább 320 kg/m^3.		
Az **ÖNORM B 4710-1:2007** szabvány NAD 10. táblázatára és a **DIN 1045-2:2008-08** szabvány F.2. táblázatára vonatkozó általános megjegyzés, hogy az abban szereplő követelmény értékek és feltételek több ponton is eltérnek az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 szabvány F1. táblázatának megfelelő értékeitől, illetve feltételeitől. Ez egyébként még számos más európai nemzet esetén is elmondható (lásd prCEN/TR 15868:2008).		

1.1. Környezeti osztályok társítása

Ha valamely betont többféle környezeti hatás éri, akkor „azokat a környezeti körülményeket, amelyeknek a beton ki van téve, szükséges lehet a környezeti osztályok kombinációjaként kifejezni.” (EN 206-1:2000 szabvány 4.1. szakasz). Például valamely esőnek és fagynak kitett, olvasztó sózás nélküli, agresszív talajvízzel érintkező vasbeton támfal légbuborékképző adalékékszer nélkül, szulfátálló cementtel készülő betonjának környezeti osztály csoportja a hatások összegzésével: XC4, XF1, XA2, XV1(H), és

mértékadó nyomószilárdsági osztálya legalább C30/37, cementtartalma legalább 320 kg/m^3, víz-cement tényezője legfeljebb 0,5, a bedolgozott friss beton levegőtartalma legfeljebb 1,0 térfogat%.

1.2. Nyomószilárdsági osztály követelményének értelmezése

Az erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges nyomószilárdsági osztály és a környezeti feltételek alapján az MSZ 4798-1:2004 szabványban ajánlott legkisebb nyomószilárdsági osztály közül általában a nagyobb nyomószilárdsági osztályt kell mértékadónak tekinteni.

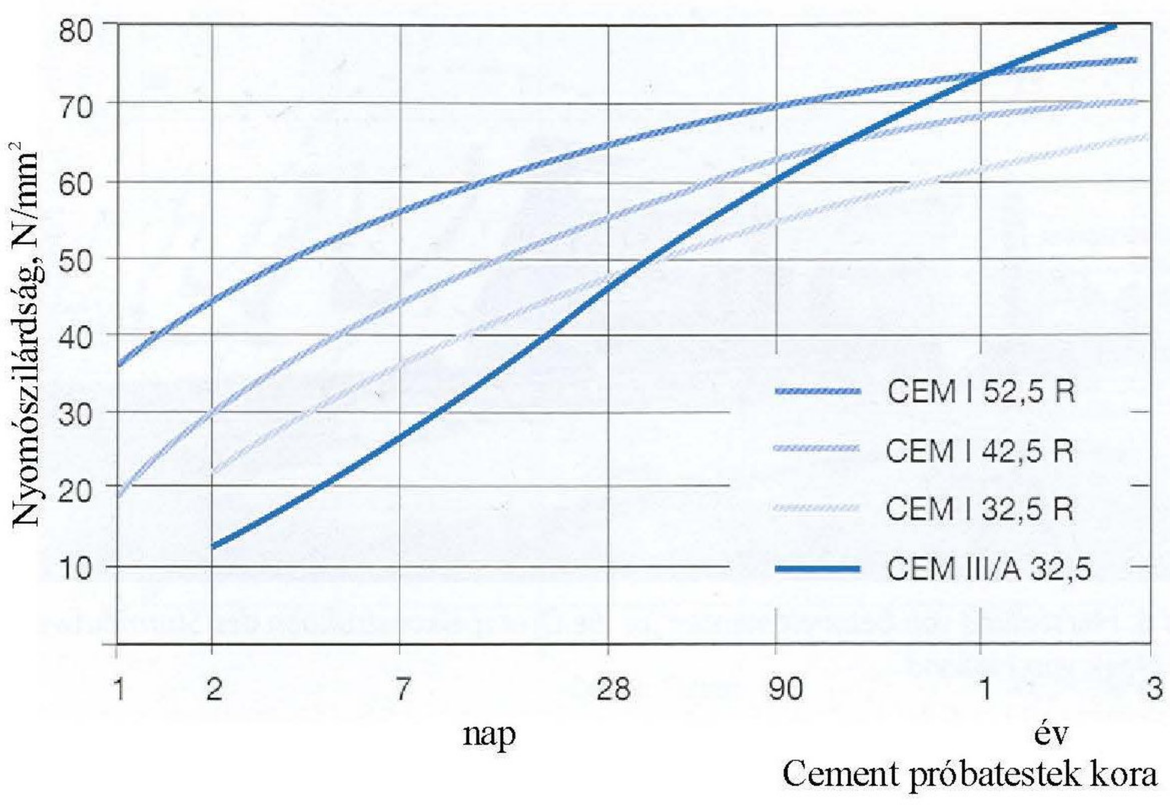
Ennek értelmében, ha az erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges nyomószilárdsági osztály nagyobb, mint a környezeti feltételek alapján az MSZ 4798-1:2004 szabványban ajánlott legkisebb nyomószilárdsági osztály, akkor természetesen az erőtani számítás eredménye alapján megállapított nyomószilárdsági osztály a mértékadó.

Ha az erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges nyomószilárdsági osztály kisebb, mint a környezeti feltételek alapján az MSZ 4798-1:2004 szabványban ajánlott legkisebb nyomószilárdsági osztály, de az adott építmény esetén felelősséggel nem bizonyított, hogy az erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti hatásoknak ellenálló beton készítéséhez elegendő, akkor a környezeti feltételek alapján az MSZ 4798-1:2004 szabványban ajánlott legkisebb nyomószilárdsági osztályt *kell* mértékadónak tekinteni.

Ha az erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges nyomószilárdsági osztály kisebb, mint a környezeti feltételek alapján az MSZ 4798-1:2004 szabványban ajánlott legkisebb nyomószilárdsági osztály, és az adott építmény esetén felelősséggel és írásban bizonyítják, hogy az erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges nyomószilárdsági osztály a környezeti hatásoknak – a tervezett használati élettartam alatt – ellenálló beton készítéséhez elegendő, akkor az erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges nyomószilárdsági osztályt *lehet* mértékadónak tekinteni.[1]

Bármiképpen történik is a mértékadó nyomószilárdsági osztály meghatározása, a meghatározott mértékadó nyomószilárdsági osztályhoz betontechnológiailag tartozó víz-

[1] Annak, hogy a beton erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges nyomószilárdsági osztálya kisebb, mint a környezeti feltételek alapján az MSZ 4798-1 szabványban ajánlott legkisebb nyomószilárdsági osztály, és írásban bizonyítják, hogy az erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges nyomószilárdsági osztály elegendő a környezeti hatásoknak a tervezett használati élettartam alatt ellenálló beton készítéséhez, jellegzetes példáját adhatja a CEM III jelű kohósalakcement (MSZ EN 197-4:2004) alkalmazása. A CEM III/A kohósalakcement utószilárdulása (1. ábra) 90 napos korig a 28 napos nyomószilárdságnak általában a 30-40 %-át, a CEM III/B kohósalakcementé pedig a 20-25 %-át teszi ki. Ezért feltételezhető, hogy a CEM III kohósalakcementtel gondosan készített és utókezelt beton nyomószilárdsági osztálya 90 napos korra eléri a környezeti feltételek alapján az MSZ 4798-1 szabványban ajánlott legkisebb nyomószilárdsági osztályt.



1. ábra: *Cementek szilárdulási folyamata.*
Forrás: Rendchen, K.: Hüttensandhaltiger Zement. Verlag Bau+Technik, Düsseldorf, 2002.

Nem kizárt tehát, hogy bizonyítható: CEM III kohósalakcement alkalmazása esetén az erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges – a környezeti osztály nyomószilárdsági követelményénél kisebb – nyomószilárdsági osztály elegendő a környezeti hatásoknak a tervezett használati élettartam alatt ellenálló beton készítéséhez.

cement tényezőt, cementtartalmat, valamint a friss beton megengedett levegőtartalma megszabta megkövetelt friss beton testsűrűséget kell a betongyártáshoz követelményként elfogadni, illetve előírni. Ezek a betontechnológiailag elfogadott és előírt értékek (víz-cement tényező, cementtartalom, friss beton levegőtartalma) ki kell, hogy elégítsék a vonatkozó környezeti osztályok követelményeit is.

A környezeti feltételek nyomószilárdsági osztályának teljesülési idejétől függetlenül az erőtani számítás eredménye alapján megállapított szükséges nyomószilárdsági osztály mindig a beton 28 napos korára vonatkozik, és akkor kell teljesülnie.

Fentieket célszerű már az építmény megvalósítási szerződésében, illetve annak mellékleteként rögzíteni.

(Lásd még az MSZ EN 1992-1-1:2008 Eurocode 2 szabvány 4.2. fejezetében lévő megjegyzést is.[2])

2. KÖRNYEZETI OSZTÁLYOK BŐVÍTÉSE

2.1. Környezeti hatásoknak ki nem tett betonok

Magyarországon jelentős mennyiségben készül C16/20 és annál kisebb nyomószilárdsági osztályú beton, ezért szükséges volt ezek környezeti hatások szerinti alkalmazhatóságának feltételeit megszabni. E tekintetben különbséget kellett tenni a beton (XN(H) és X0b(H) környezeti osztály) és a vasbeton (X0v(H) környezeti osztály) szerkezetek betonjai között. Az XN(H) környezeti osztályba tartoznak a C8/10 alárendelt nyomószilárdságú betonok, az X0b(H) osztályba a C12/15, C16/20 nyomószilárdsági osztályú betonok. Az X0v(H) környezeti osztályban azért nem elégszünk meg a C16/20 nyomószilárdsági osztályú betonnal, mert az EN 206-1:2000 szabvány szerint vasbeton készítéséhez legalább C20/25 nyomószilárdsági osztályú betonra van szükség. A környezeti osztály jelében a (H) betű a magyar ország-jelzésnek felel meg, és arra utal, hogy a környezeti osztály követelményei csak Magyarországon érvényesek.

2.2. Légbuborékképző adalékszer nélkül készülő fagyálló betonok

A fagy és olvasztósó hatásának kitett beton, vasbeton és feszített vasbeton elemek és szerkezetek XF2, XF3, XF4 környezeti osztályú betonjára az MSZ 4798-1:2004 szabvány F1. táblázata kimondja, hogy Magyarországon az ilyen környezeti osztályú betonokat légbuborékképző adalékszer nélkül készíteni nem szabad. Az EN 206-1:2000 szabvány ebben a kérdésben nem ilyen szigorú, ugyanis az F1. táblázatban azt írja, hogy: „Ha a betonban nincs mesterséges légbuborék, akkor a beton teljesítőképességét megfelelő módszerrel meg kell vizsgálni olyan betonnal összehasonlítva, amelyre az adott környezeti osztály esetén a fagyás/olvadás állóságot bebizonyították.” Magyarországon is tapasztalat, hogy fagy- és olvasztósó-álló betont légbuborékképző adalékszer alkalmazása nélkül is lehet készíteni, sőt vasbeton és feszített vasbeton tartószerkezetek készítése során a légbuborékképző adalékszer használata akár kedvezőtlen is lehet (csökken a beton nyomószilárdsága, testsűrűsége és tömörsége).

Ezért mindazon esetekben, amikor valamely — nem útpálya — betonra vagy termékre vonatkozó szabvány, műszaki előírás, irányelv vagy utasítás a fagy- és olvasztósó-álló beton

---

[2] Az MSZ EN 1992-1-1:2008 Eurocode 2 szabvány 4.2. fejezetének megjegyzése szerint a beton összetétele befolyásolja mind a vasalás védelmét, mind a beton környezeti hatásokkal szembeni ellenállását. Az MSZ EN 1992-1-1:2008 Eurocode 2 szabvány E mellékletében lévő E1N táblázat a különböző környezeti osztályokhoz előirányzott betonszilárdsági osztályokat tartalmazza, lényegében az MSZ EN 206-1:2002 szabvány F1. táblázatával azonos módon. Ez az erőtani tervezéshez szükségesnél magasabb szilárdsági osztályok alkalmazásához vezethet. Ilyen esetekben a minimális acélmennyiség számításakor és a repedéstágasság vizsgálatakor a magasabb szilárdsághoz tartozó f_{ctm} értéket (a beton tengelyirányú húzószilárdságának átlagos értékét) kell figyelembe venni. A beton f_{ct} tengelyirányú húzószilárdságának és $f_{ct,sp}$ hasító-húzószilárdságának közelítő összefüggése az MSZ EN 1992-1-1:2008 Eurocode 2 szabvány 3.1.2. fejezetének (8) szakasza szerint: $f_{ct} = 0{,}9 \cdot f_{ct,sp}$. A beton hasító-húzószilárdságának a jele az MSZ EN 206-1:2002 szabványban: f_{tk}.

készítéséhez a légbuborékképző adalékszer alkalmazását kötelezően nem írja elő, akkor szabad fagy- és olvasztósó-álló betont légbuborékképző adalékszer alkalmazása nélkül is készíteni. Ezt megengedi a DIN 1045-2:2001 és újabban a DIN 1045-2:2008 szabvány (az EN 206-1:2000 szabvány német nemzeti alkalmazási dokumentuma) is, amely a fagy- és olvasztósó-álló beton egyik változataként a légbuborékképző adalékszer nélkül készülő betonra külön XF2 és XF3 környezeti osztályt is megad. Ezeket a környezeti osztályokat XF2(BV-MI) és XF3(BV-MI) jelekkel – amelyekben a (BV-MI) jel a *fib* (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozatának beton- és vasbetonépítési műszaki irányelvére utal – szerkezeti (nem útpályaszerkezeti) betonok esetén Magyarországon is alkalmazhatjuk. A fagy és olvasztósó hatásának kitett betonok e felfogás szerint bővített környezeti osztályait a *2. táblázatban* tekintjük át. Fontos, hogy a légbuborékképző adalékszer nélküli fagy- és olvasztósó-álló beton kellő tömörségű, például a friss beton levegőtartalma legfeljebb 1,0 térfogat% legyen. Az ilyen beton fagy- és olvasztósó-állóságát az XF2(BV-MI) környezeti osztály esetén a CEN/TS 12390-9:2006 európai műszaki előírás szerinti peremes lehámlásos vizsgálattal, az XF3(BV-MI) környezeti osztály esetén pedig a CEN/TS 12390-9:2006 európai műszaki előírás vagy a CEN/TR 15177:2006 európai műszaki jelentés szerinti bemerítéses leválásos vizsgálattal kell igazolni.

Fagyálló, illetve fagy- és olvasztósó-álló betonok környezeti osztályainak áttekintése *2. táblázat*

Környezeti osztály	Olvasztósó hatás éri a betont	A beton felülete	Légbuborékképző adalékszerrel készül a beton
XF1	Nem	Függőleges	Nem
XF2	Igen	Függőleges	Igen
XF3	Nem	Vízszintes	Igen
XF4	Igen	Vízszintes	Igen
XF2(BV-MI)	Igen	Függőleges	Nem
XF3(BV-MI)	Nem	Vízszintes	Nem

2.3. Kopásálló betonok

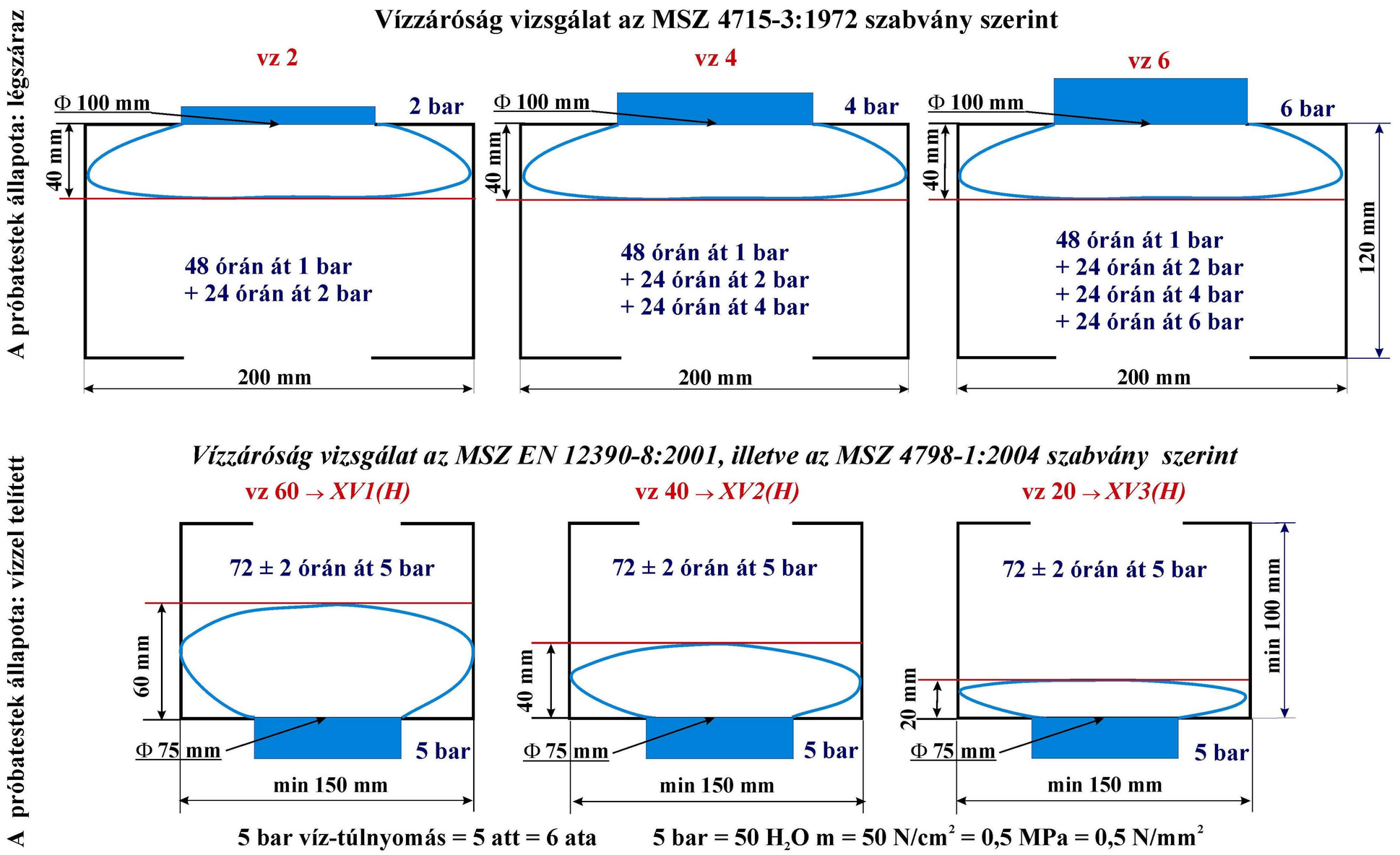
A kopásálló betonok megfelelőségi feltételeivel az EN 2006-1:2000 szabvány nem foglalkozik. Ha a betontól kopásállóságot követelünk meg, akkor az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint Magyarországon a nyomószilárdsági osztály, a cementtartalom, a víz-cement tényező és a friss beton levegőtartalma a kopásállóság szükséges mértékétől függően feleljen meg az *1. táblázat* előírásainak. Magyarországon a beton kopásállóságát legalább 28 napos korában, az MSZ 18290-1:1981 szabvány szerinti Böhme-féle eljárással kell vizsgálni (az EN 1341:2001 szerinti kopásállósági vizsgálattal nincs hazai tapasztalat és követelmény). A kopásálló beton jelében az első szám a száraz, a második a vizes eljáráshoz tartozó kopási térfogatveszteség megengedett mértéke cm^3-ben. A Böhme-féle kopásra bőséges kísérleti eredmény áll rendelkezésre, mert az eljárást a budapesti József-Műegyetemen már 1930-ban alkalmazták.

A DIN 1045-2:2001 és DIN 1045-2:2008 szabvány a kopásálló betonokra három környezeti osztályt ad meg (jele: XM1 – XM3), legfeljebb 0,45 és 0,55 víz-cement tényezővel, legalább C30/37 és C35/45 nyomószilárdsági osztállyal, legalább 300-320 kg/m^3 cementadagolással, esetenként felületkezeléssel.

2.4. Vízzáró betonok

Az EN 2006-1:2000 szabvány szerint a vízzáró betonok vizsgálati módszerében és a megfelelőségi feltételekben a tervezőnek és a gyártónak kell megegyeznie. Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint Magyarországon a vízzáró beton a vízzáróság szükséges mértékétől függően feleljen meg az *1. táblázat* előírásainak. A beton vízzáróságát az EN 12390-8:2000 szabvány szerint, legalább 28 napos korú, végig víz alatt tárolt – Magyarországon szabad vegyesen, azaz 7 napos korig víz alatt, utána laborlevegőn tárolni – a próbatesten, 75 mm átmérőjű körfelületen, 72 ± 2 órán át ható 5 bar (0,5 ± 0,05 MPa) állandó víznyomáson kell

vizsgálni. A próbatest víznyomásra merőleges, felérdesített oldalának hossza vagy átmérője legalább 150 mm, magassága legalább 100 mm legyen. Az új európai vizsgálati módszer a víznyomás mértékében és idejében, a nyomott felület nagyságában, a vizsgálati eredmény értékelésében jelentősen eltér a korábbi, MSZ 4715-3:1972 szabvány 3. fejezete szerint végzett magyar eljárástól. Az eltérést a *2. ábrán* mutatjuk be.



2. ábra: *Vízzáróság vizsgálat elve a régi magyar és az új európai szabvány szerint*

A DIN 1045-2:2001 szabvány szerint, ha a vízzáró szerkezeti elem vastagsága több, mint 0,4 m, akkor a beton víz-cement tényezője ≤ 0,7, ha a vastagság legfeljebb 0,4 m, akkor a víz-cement tényező ≤ 0,6 legyen. Az utóbbi esetben a cementtartalom legalább 280 kg/m^3 (hidraulikus kiegészítő anyag alkalmazása esetén legalább 270 kg/m^3) és a beton nyomószilárdsági osztálya legalább C25/30 legyen.

2.5. A friss és a szilárd beton levegőtartalma

Az építési célnak — beleértve a tartósságot is — csak a kellően bedolgozott, megkövetelt tömörségű, zárványmentes beton felel meg, ezért a bedolgozott friss beton levegőtartalmát korlátozni kell. Magyarországon a közönséges friss beton bennmaradt levegőtartalmának (a levegőzárványoknak) tervezési értéke az *1. táblázat* szerinti legyen.

A friss beton testsűrűségét az MSZ EN 12350-6:2000 szabvány szerint meg kell mérni. A mért testsűrűséget össze kell vetni a friss beton testsűrűségének tervezett értékével. Az összevetésből – a tervezett testsűrűséghez tartozó tervezett levegőtartalom ismeretében – meghatározható a mért testsűrűséghez tartozó tényleges levegőtartalom, amely nem lehet több, mint a környezeti osztály által az *1. táblázatban* megengedett érték.

Ha szükséges, akkor a friss beton levegőtartalmát az EN 12350-7:2000 szabvány szerint kell megmérni.

Ha a légbuborékképző adalékszerrel készített szilárd beton olvasztósó hatásának is ki van téve (XF2 és XF4 környezeti osztály), és az érdekelt felek megegyeznek a fagy- és olvasztósó-állósági vizsgálat elhagyásában, akkor a beton megfelelőségének az igazolásához a szilárd beton légbuborék eloszlását és távolsági tényezőjét az EN 480-11:2005 szerint meg kell határozni. A légbuborékképző adalékszerrel bevitt, közel gömb alakú, mikroszkopikus légbuborékok átmérője 0,02 mm és 0,30 mm között van, távolsági tényezőjük legfeljebb 0,22 mm legyen.

2.6. Példa a friss beton testsűrűségének ellenőrzésére

Ha például a beton nyomószilárdsági osztálya C30/37 (150 mm-es vegyesen tárolt próbakockákon mért átlagos nyomószilárdság legalább 52,8 N/mm^2), víz-cement tényezője x = 0,36, cementadagolása 320 kg/m^3, a szükséges konzisztenciát biztosító folyósító adalékszer adagolás a cementtartalomra vett 1,0 tömeg%, és a tervezett levegőtartalom 1,0 térfogat%, akkor a beton összetétele a *3. táblázat* szerinti.

Példa a beton összetételére *3. táblázat*

Összetevők	Tömeg kg/beton m^3	Térfogat liter/ beton m^3
Cement	320,0	106,7
Víz	115,2	115,2
Adalékszer	3,2	3,2
Adalékanyag	2019,3	764,9
Levegő	–	10
Összesen	2457,7	1000

Eszerint a bedolgozott friss beton testsűrűsége legalább $\rho_{friss\ beton}$ = 2457,7 kg/m^3 kell legyen. Ezután meg kell határozni a friss próbakockákon mért testsűrűségek átlagát, legyen ennek jele: $\rho_{friss\ beton,\ test}$. Ennek ismeretében ki lehet számítani a bedolgozott friss beton tényleges levegőtartalmát ($V_{\ell,\ test}$):

$$V_{\ell,test} = 1000 - \frac{\rho_{friss\ beton,\ test}}{\rho_{friss\ beton}} \cdot \left(\frac{1000 M_c}{\rho_c} + x \cdot M_c + \frac{1000 M_a}{\rho_a} + M_{adalékzer} \right) \quad [liter]$$

ahol:

$V_{\ell,test}$ = a friss beton tényleges levegőtartalma, liter

$\rho_{friss\ beton,\ test}$ = a friss beton tényleges testsűrűsége, kg/m^3

$\rho_{friss\ beton}$ = a friss beton tervezett testsűrűsége, kg/m^3

M_c = a beton tervezett cementtartalma, kg/m^3

x = a beton tervezett víz-cement tényezője

$M_v = x \cdot M_c$ = a keverővíz tervezett tömege, kg/m^3

M_a = a beton tervezett adalékanyag-tartalma, kg/m^3

$M_{adalékszer}$ = a beton tervezett adalékszer-tartalma, kg/m^3

ρ_c = a cement anyagsűrűsége, kg/m^3

ρ_a = az adalékanyag keverék szemeinek súlyozott testsűrűsége kiszárított állapotban, kg/m^3

Legyen példánk esetében a friss próbakockákon mért testsűrűségek átlaga $\rho_{friss\ beton,\ test}$ = 2468 kg/m^3. Ebben az esetben a bedolgozott friss beton tényleges levegőtartalma:

$$V_{\ell,test} = 1000 - \frac{2468}{2457,7} \cdot (106,7 + 115,2 + 764,9 + 3,2) =$$

$$= 1000 - 1,004 \cdot 990 = 1000 - 994 = 6,0\ liter = 0,6\ térfogat\%$$

Minthogy a friss beton tényleges testsűrűsége nagyobb, mint a friss beton tervezett testsűrűsége, következik, hogy a friss beton tényleges levegőtartalma kisebb, mint a megengedett legnagyobb levegőtartalom.

Ha ezek a feltételek nem teljesülnek, tehát a friss beton tényleges testsűrűsége kisebb, mint a friss beton tervezett testsűrűsége, akkor vagy a bedolgozás módját vagy a beton összetételét kell megváltoztatni, és a fenti számítást újból el kell végezni.

BETON JELE

A beton Magyarországon alkalmazandó jelét az MSZ 4798-1:2004 szabvány 11. fejezete szabályozza.

A beton jelében első helyen a nyomószilárdsági osztály jele szerepel. Az erőtani számítás eredménye alapján megállapított nyomószilárdsági osztály és a környezeti feltételek alapján ajánlott legkisebb nyomószilárdsági osztály (*1. táblázat*) közül a mértékadót az 1.2. fejezet szerint kell meghatározni, és az ehhez betontechnológiailag tartozó víz-cement tényezőt, cementtartalmat, a megengedett levegőtartalom megszabta megkövetelt testsűrűséget kell a betongyártáshoz követelményként elfogadni. Ezek az elfogadott értékek ki kell elégítsék a vonatkozó környezeti osztályok követelményeit is.

A beton jelében a környezeti osztály vagy osztályok jele általában a második helyen áll. Ha a környezeti osztályhoz tartozó ajánlott legkisebb nyomószilárdsági osztály az 1.2. fejezet értelmezése szerint csak a beton 28 napos kora után, az utószilárdulás folyamán, 90 napos korra teljesül – és ezt írásban igazolják –, akkor azt a környezeti osztály jelében „90" alsó indexszel kell jelezni. Például: $XD2_{90}$. Ebben az esetben a beton jelében meg kell adni az alkalmazandó cement jelét is, általában a konzisztencia osztály jele után.

Ezt követi az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának és a beton konzisztencia osztályának a jele, majd a szabvány száma.

Például annak a C30/37 nyomószilárdsági osztályú betonnak a jele, amelyből vasbeton keretszerkezet épül, és környezeti osztálya XC3, névleges legnagyobb szemnagysága D_{max} = 24 mm, konzisztenciája képlékeny, és a konzisztenciát roskadás méréssel fogják meghatározni (konzisztencia osztálya S2), a következő: C30/37 - XC3 - 24 - S2 - MSZ 4798-1:2004

HIVATKOZOTT SZABVÁNYOK

CEN/TR 15177:2006	Testing the freeze-thaw resistance of concrete – Internal structural damage. Európai műszaki jelentés
CEN/TS 12390-9:2006	Testing hardened concrete. Freeze-thaw resistance – Scaling. Európai műszaki előírás
DIN 1045-2:2001	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton. Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
DIN 1045-2:2008	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton. Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
EN 12350-7:2000	Testing fresh concrete - Part 7: Air content. Pressure methods
EN 12390-8:2000	Testing hardened concrete – Part 8: Depth of penetration of water under pressure
EN 1341:2001	Slabs of natural stone for external paving - Requirements and test methods
EN 1990:2002	Eurocode. Basis of structural design. Módosították: EN 1990:2002/A1:2005 és EN 1990:2002/A1:2005/AC:2008 jelzet alatt
EN 1992-1-1:2004	Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. Módosították: EN 1992-1-1:2004/AC:2008 jelzet alatt
EN 206-1:2000	Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity. Módosították: EN 206-1:2000/A1:2004 és EN 206-1:2000/A2:2005 jelzet alatt
EN 480-11:2005	Admixtures for concrete, mortar and grout test methods – Part 11: Determination of air void characteristics in hardened concrete

MSZ 18290-1:1981 Építési kőanyagok felületi tulajdonságainak vizsgálata. Kopási vizsgálat Böhme módszerrel

MSZ 4715-3:1972 Megszilárdult beton vizsgálata. Hidrotechnikai tulajdonságok

MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség, valamint az MSZ EN 206-1 alkalmazási feltételei Magyarországon

MSZ EN 197-4:2004 Cement. 4. rész: Kis kezdőszilárdságú kohósalakcementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei

MSZ EN 1992-1-1:2008 Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok

MSZ EN 206-1:2002 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Módosították: MSZ EN 206-1:2000/A1:2004 és MSZ EN 206-1:2000/A2:2005 jelzet alatt

ÖNORM B 4710-1:2007 Beton. Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis (Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206-1 für Normal- und Schwerbeton)

prCEN/TR 15868:2008 Survey of national requirements used in conjunction with EN 206-1:2000. Európai műszaki jelentés tervezet

HIVATKOZOTT IRODALOM

Balázs L. Gy. – Kausay T.: Betonok fagy- és olvasztósó-állóságának vizsgálata és követelmények – 1. Értelmezés. Vasbetonépítés. X. évfolyam. 2008/4 szám pp. 127-135.

Pluzsik T. (szerkesztő): Cement-beton Kisokos. Holcim Hungária Zrt. Budapest, 2008

Rendchen, K.: Hüttensandhaltiger Zement. Verlag Bau+Technik, Düsseldorf, 2002

A BETON NYOMÓSZILÁRDSÁGÁNAK ELFOGADÁSI TÉNYEZŐJE AZ ÚJ BETONSZABVÁNYOK SZERINT

Dr. Kausay Tibor

Az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 új betonszabványok 14. táblázatában, a folyamatos gyártás nyomószilárdsági megfelelőségének 1. feltételében szereplő elfogadási tényezőnek (angolul: acceptance constant vagy coefficient, németül: Annahmekonstant vagy Annahmekennzahl, beleértve a 2. feltételben szereplő elfogadási összeadandót is) azt a szorzót nevezzük, amellyel a nyomószilárdság vizsgálati eredmények szórását megszorozva a nyomószilárdság átlag értékének és jellemző értékének különbségére jutunk. Ha a nyomószilárdság átlaga (f_{cm}), szórása (s_n) és elfogadási tényezője (λ) adott, akkor a nyomószilárdság jellemző értéke (f_{ck}) kiszámítható:

$$f_{ck} = f_{cm} - \lambda \cdot s_n$$

Az új betonszabványokban (MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004) a folyamatos gyártás nyomószilárdsági megfelelőségének 1. feltételében szereplő, az $n = 15$ mintaelem számhoz tartozó $\lambda_{n=15} = 1{,}48$ értékű elfogadási tényező lényegében a korábbi szabványban (MSZ 4720-2:1980) szereplő *Student*-féle tényező szerepét tölti be. Ez a *Student*-féle tényező értéke a mintaelem számtól függött, értéke a korábbi betonszabványban minden esetben legalább 1,645; de kis elemszámú minta esetén ennél lényegesen nagyobb volt. A szabványváltozás – ezen a ponton legalábbis – egyértelműen a gyártónak kedvező, hiszen minél kisebb az 1. feltételbeli szorzó, annál könnyebb a feltételt kielégíteni. Ahhoz, hogy megértsük az elfogadási tényező $\lambda_{n=15} = 1{,}48$ értékét magyarázó (illetve a korábbi szabványban szereplő szorzókhoz vezető) indokokat, célszerű átgondolnunk a nyomószilárdsági osztályba sorolás alapelveit. Előre kell bocsátanunk, hogy mind a korábbi szabványban szereplő elfogadási tényezők, mint az 1,48-os érték statisztikailag korrekt, de — és ez a különbség igazi oka — teljességgel eltérő körülmények között. Az alábbiakban döntően *Taerwe* (1986) és *Zäschke* (1994) dolgozataira támaszkodunk.

A beton nyomószilárdsági osztályokba sorolásának alapja az a követelmény, hogy amennyiben a beépítésre kerülő teljes mennyiségét meg tudnánk vizsgálni nyomószilárdság szempontjából (és így teljesen meg tudnánk határozni a nyomószilárdság eloszlását), az így kapott eredmények 95%-nak el kell érnie az előre meghatározott, előírt f_{ck} szilárdsági küszöböt, amit előírt jellemző értéknek hívunk. Ugyanezt mondhatjuk úgy is, hogy a nyomószilárdság eloszlásának 5%-os kvantilise ($f_{ck,test}$) nagyobb, vagy egyenlő, mint f_{ck} ($f_{ck} \leq f_{ck,test}$).

A beton nyomószilárdságának jellemző értékéhez a teljes mintának az a hányada tartozik, amely nem éri el az f_{ck} nyomószilárdsági küszöböt. Az alulmaradási hányad szokásos jelölése p, amely értelemszerűen egy 0 és 1 közötti szám (gyakran százalékos formában kifejezve). Az $f_{ck} \leq f_{ck,test}$ követelményt az alulmaradási hányad segítségével $p \leq 5\%$ formában írhatjuk le.

Ha a p értékét ismernénk, akkor a dolog rendkívül egyszerű volna, hiszen $p \leq 5\%$ esetén elfogadjuk a mintát, ellenkező esetben elutasítjuk. Természetesen a p értékét sohasem ismerjük (hiszen ehhez a teljes betonmennyiséget meg kellene vizsgálni), így különböző statisztikai eljárásokra van szükség. Valamennyi alkalmazott eljárás közös jellemzője, hogy feltételezi a beton nyomószilárdsága során kapott eredmények normális (*Gauss*-féle) eloszlását. A továbbiak során feltételezzük, hogy a vizsgálati eredmények egy általunk nem ismert μ várható értékű és σ szórású normális eloszlást követnek: ez esetben az eloszlás 5%-os kvantilise az $f_{ck,test} = \mu - 1{,}645 \cdot \sigma$ formulával számolható.

A korábbi MSZ 4720-2:1980 szabványban szereplő *Student*-féle tényezőket elemi matematikai statisztikai tények magyarázzák. Ha ismerjük a nyomószilárdság σ szórását,

akkor a vizsgálati eredmények $f_{cm,test}$ átlaga a μ várható érték torzítatlan becslését adja, és így $f_{cm,test}$ - 1,645·σ az 5%-os kvantilis egy természetes becslése. A szabványban szereplő $f_{ck} \leq f_{cm,test}$ - 1,645·σ feltétel pontosan azt az elvárást fejezi ki, hogy az 5%-os kvantilis becsült értékének ($f_{ck,test}$) az előírt szilárdsági küszöb (f_{ck}) felett kell maradnia.

Ha nem ismerjük a szórást, akkor a helyzet némileg bonyolultabb, hiszen a szórást is becsülni kell. Ez esetben a

$$\frac{f_{cm} - \mu}{\sigma_n}\sqrt{\frac{n}{n-1}}$$

mennyiség ún. n - 1 szabadságfokú *Student*-féle t-eloszlást követ, és az 5%-os kvantilis értéke a t-eloszlás táblázatból vett értékének segítségével becsülhető.

Összegezve: a korábbi, (MSZ 4720-2:1980) szabványban szereplő eljárások mind ismert, mind ismeretlen szórás esetén a rendelkezésre álló adatok alapján becslik az $f_{ck,test}$ tapasztalati jellemző értéket, majd az így kapott becslést összehasonlítják az f_{ck} kritikus, előírt jellemző értékkel. Az alapul szolgáló valószínűségi eloszlások szimmetrikussága miatt az így kapott eljárás jellemzője, hogy ha a gyártó éppen „kritikusan jó" betont gyárt (azaz p = 5%), akkor a beton körülbelül 50% valószínűséggel kerül elfogadásra. Ha bevezetjük az adott p jellemző értékű beton elfogadási valószínűségét, $A(p)$-t (acceptance probability, Annahmewahrscheinlichkeit), — amely azt mondja meg, hogy a p alulmaradási hányadú betont milyen valószínűséggel fogjuk elfogadni, — akkor ez azt jelenti, hogy $A(0{,}05) \approx 0{,}5$.

Az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 szabvány a beépítésre kerülő beton nyomószilárdsági megfelelőségét olyan módon próbálja biztosítani, amely egy tágabb kontextusban értelmezendő minőségbiztosítási rendszer része.

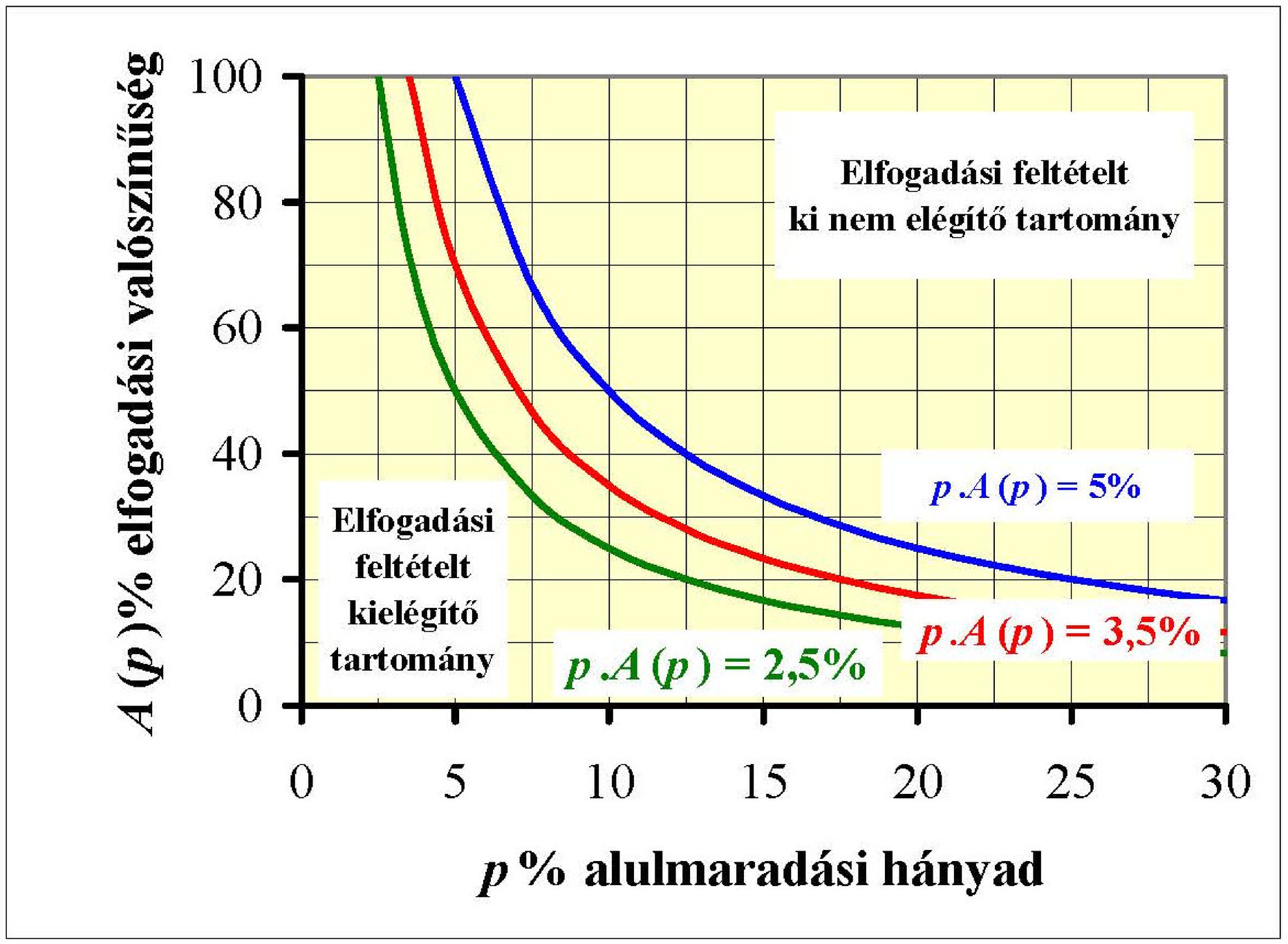
Bármely megfelelőségi feltételrendszer esetén értelmezhető az adott p jellemző értékű betonhoz tartozó elfogadási valószínűség, $A(p)$. Ha az $A(p)$ mennyiséget p függvényében ábrázoljuk, akkor az adott megfelelőségi feltételrendszer operációs karakterisztikáját, az úgynevezett OC-görbét kapjuk. (Az OC-görbe általában szimulációs vizsgálattal határozható meg.)

Az új betonszabványok (MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004) megfelelőségi döntése alapjául a következő gondolatmenet szolgál (*Taerwe* 1986, *Zäschke* 1994): Olyan minőségbiztosítási rendszert szeretnénk, amely minden p jellemző érték esetén teljesíti a

$$p \cdot A(p) \leq 5\%$$

feltételt (*1. ábra*). Bocsássuk előre, hogy az új betonszabványokban szereplő feltételrendszer ezt valóban teljesíti is. Például:

ha	$p = 0{,}05$	akkor	$A(p) \leq 1{,}0$
ha	$p = 0{,}07$	akkor	$A(p) \leq 0{,}7$
ha	$p = 0{,}10$	akkor	$A(p) \leq 0{,}5$
ha	$p = 0{,}25$	akkor	$A(p) \leq 0{,}2$



1. ábra: Elfogadási görbe (OC-görbe)

De miért is van szükség éppen erre a $p{\cdot}A(p) \leq 5\%$ feltételre?

Bármiféle megfelelőségi feltétel felfogható egyfajta szűrőnek is: a megfelelőnek talált mintákat átengedi, a nem-megfelelelőnek találtakat pedig visszatartja. Tételezzük fel, hogy olyan anyagot vizsgálunk – pl. betonacélt – amelynek megfelelősége még a beépítés előtt ellenőrizhető, és a beépítés előtt a minőséget folyamatosan ellenőrizzük is, a megfelelőnek találtakat beépítjük, a nem-megfelelőeket pedig tökéletes minőségűekkel helyettesítjük. Ekkor a megfelelőségi feltétel által megszűrt sokaság minősége nyilván jobb lesz, és a $p{\cdot}A(p) \leq 5\%$ feltétel biztosítja, hogy a megszűrt sokaság p értéke már 5% alatt maradjon. Fontos kiemelni, hogy még ebben az esetben is, *folyamatos* (és nem szúrópróbaszerű!) *ellenőrzést* kell feltételeznünk.

Beton esetében a nem-megfelelőnek ítélt szállítmányokat nyilván nem lehet tökéletes minőségűekkel helyettesíteni, hiszen mire a nem-megfelelőség kiderül, addigra már rég beépítésre került az anyag. A $p{\cdot}A(p) \leq 5\%$ feltétel akkor lesz értelmes, ha azt feltételezzük, hogy folyamatosan nyomon követjük, melyik beton szállítmány hová került beépítésre, és ahová olyan beton szállítmányt építettünk be, amely a vizsgálat során nem bizonyult megfelelőnek, azt a részt utólagosan megerősítjük, vagy más módon elérjük, hogy gyakorlati szempontból tökéletes legyen. (Azaz a nem-megfelelő szállítmányokat utólagosan „tökéletessé” transzformáljuk.)

Ha a beépítésre kerülő beton szállítmányokat *folyamatosan* vizsgáljuk, és a nem megfelelőeket utólagosan „tökéletessé” transzformáljuk, akkor a $p{\cdot}A(p) \leq 5\%$ feltétel valóban biztosítja, hogy a kész szerkezetben az f_{ck} szilárdsági küszöb (előírt jellemző érték) alatti nyomószilárdságú beton mennyisége 5% alatt maradjon.

Az új betonszabványok (MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004) 14. táblázatában a folyamatos gyártás nyomószilárdsági megfelelőségének 1. feltételében szereplő, az $n = 15$

mintaelem számhoz tartozó $\lambda_{n=15}$ = 1,48 értékű elfogadási tényező egy ilyen, *folyamatos vizsgálatot és utólagos megerősítést feltételező* minőségbiztosítási rendszer részeként került meghatározásra. A kapott rendszer a $p \cdot A(p) \leq 5\%$ feltételt valójában ki is fogja elégíteni, jelentős biztonsági ráhagyással (*Zäschke*, 1994). Például megengedi, hogy amennyiben a gyártó „kritikusan jó", azaz p = 5% alulmaradási hányadú betont készít, akkor az elfogadás A(0,05) valószínűsége 1,0 legyen (*1. ábra* felső görbéje, ahol A(0,05) = 1,0). A $\lambda_{n=15}$ = 1,48 által szolgáltatott feltételrendszernél, A(0,05) ≈ 0,7, azaz ha a gyártó „kritikusan jó" betont készít, akkor azt a feltételrendszer 0,7 körüli valószínűséggel fogja megfelelőnek minősíteni (*1. ábra* középső görbéje, ahol A(0,05) ≈ 0,7). Ez lényegesen kisebb, mint a $p \cdot A(p) \leq 5\%$ alapfeltétel által megkövetelt 1,0, de lényegesen több, mint az MSZ 4720-2:1980 által biztosított 0,5 (*1. ábra* alsó görbéje, ahol A(0,05) = 0,5). A biztonsági ráhagyás oka többek között, hogy a $\lambda_{n=15}$ = 1,48 elfogadási tényező egy olyan modellben számolódik, amely az egyes vizsgálati eredmények között némi gyenge összefüggőséget is megenged. (Ha sokat mérünk, akkor az időben közeli mérések között lesz némi korreláció.) Ha feltételeznénk, hogy a mérési eredmények függetlenek, akkor $\lambda_{n=15}$ = 1,48 helyett 1,318 jönne ki. A λ elfogadási tényezők egy ajánlott OC-görbéhez tartozó értékek, amelyeket numerikus szimulációval határoztak meg, a véletlen számok révén (*Taerwe*, 1986).

Összehasonlítva tehát a MSZ 4720-2:1980 és az MSZ EN 206-1:2002 ill. MSZ 4798-1:2004 szabványokat, a korábbi szabvány a beépített beton nyomószilárdságát egy szúrópróbaszerűen is alkalmazható megfelelőségi feltétellel, az új szabványok pedig egy folyamatos nyomon követést és utólagos javítást feltételező minőségbiztosítási rendszer részeként alkalmazható megfelelőségi feltétellel kívánja biztosítani. Az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 szabványnak az a komoly hiányossága, hogy a szabványokba csak megfelelőségi feltétel került be, a folyamatos nyomon követés és utólagos javítás kötelezettsége nélkül.

Az előzőek során az új szabványoknak (MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004) csak az 1. nyomószilárdsági feltételével foglalkoztunk: ezt azért tehettük meg, mert gyakorlati tapasztalatok és szimulációs vizsgálatok szerint is a 2. feltétel szinte semmit nem élesít a feltételrendszeren (*Zäschke*, 1994).

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetét fejezi ki **dr. Megyesi Zoltán okl. matematikusnak**, aki az új betonszabványok megfelelőségi feltételeinek matematikai értelmezésében volt szíves hathatós segítséget nyújtani.

Irodalom

[1] Taerwe, Luc: A General Basis for the Selection of Compliance Criteria, *IABSE Proceedings* P-102/86, 1986.

[2] Zäschke, Wolfgang: Conformity Criteria for Compressive Strength of Concrete, *Concrete Precasting Plant and Technology*, 9/1994.

BETONOK SAVÁLLÓSÁGA – „SAVÁLLÓ” BETON

Lásd az utóiratot is!

IRODALMI ÁTTEKINTÉS AZ

- **AZ MSZE 15612:2014 „ELŐRE GYÁRTOTT[1] BETON CSATORNÁZÁSI AKNAELEMEK” CÍMŰ MAGYAR ELŐSZABVÁNY TERVEZETE**
- **ÉS AZ MSZ 4798:2016 „BETON. MŰSZAKI KÖVETELMÉNYEK, TULAJDONSÁGOK, KÉSZÍTÉS ÉS MEGFELELŐSÉG, VALAMINT AZ EN 206 ALKALMAZÁSI FELTÉTELEI MAGYARORSZÁGON” CÍMŰ MAGYAR SZABVÁNY TERVEZETE**

SAVÁLLÓSÁGGAL KAPCSOLATOS SZAKASZAINAK HÁTTEREKÉNT.

Mottó: Savaknak maradéktalanul és tartósan ellenálló beton nincs, előállítására legfeljebb törekedni lehet.

1. Általános megállapítások

A csatornázási elemek tervezési élettartama a német DWA-M 168:2010 műszaki irányelv alkalmazási feltételei szerint – hivatkozással a visszavont DWA-M 810 német költségelemzési segédletre – 50-80, illetve 100 év.

Ha a vízzáró beton a betonra nézve agresszív vízzel érintkezik, akkor a szerkezet, illetve a beton tervezése során a vízzáróság feltételein kívül a kémiai korrózió hatását is figyelembe kell venni.

A beton kémiai korróziója oldódásos vagy duzzadásos korrózió lehet (MSZ 4798:2016). Oldódásos korrózió esetén a cementkő mészvegyületeit a savak, a cserebomlásra hajlamos sók, a növényi és állati zsírok és olajok kioldják, és a beton felülete általában lassan elmállik. A térfogat-növekedéssel járó duzzadásos korróziót elsősorban a vízben oldott, a cementkő adott összetevőjével reakcióba lépő szulfátok okozzák. A beton tönkremenetelét fokozza, ha a szó szoros értelmében vett kémiai korrózióhoz koptatóhatás is társul. A német nyelvű szakirodalomban az oldódásos korrózió és a duzzadásos korrózió, valamint a mechanikai kopás együttesét eróziónak (Erosion → latinul: erodere = tönkretenni, lepusztítani) nevezik.

A betonanyagú csatornázási elemek, szennyvízkezelő műtárgyak, illetve betonjaik korróziója alatt a betonnak a – beton és a betonnal érintkező anyagok közötti reakciók révén bekövetkező – kémiai vagy mikrobiológiai károsodását értjük. Nem kizárt, hogy a szennyvizekkel érintkező betonok korróziójához a mechanikai igénybevételek, mint a koptató-, erózió- vagy fagyhatás is hozzájárulnak (ATV-Merkblatt M 168:1998).

A csatornázási elemek, szennyvízkezelő műtárgyak betonjának korrózióját külsőleg és belsőleg ható agresszív anyagok okozhatják. Külsőleg az agresszív talajok és talajvizek hatnak, amelyet az MSZ EN 206-1:2002 (MSZ EN 206:2014) és MSZ 4798-1:2004 (MSZ 4798:2016) szabvány az XA1, XA2 és XA3 környezeti osztályokkal vesz figyelembe. Belső korróziót a szennyvizek agresszív anyagai – beleértve a biogén kénsavat, biogén salétromsavat is (BSK, Biogene Schwefelsäure-Korrosion) – okoznak.

Az MSZ EN 206-1:2002 (MSZ EN 206:2014) és MSZ 4798-1:2004 szabványban a szennyvizek okozta belső betonkorrózióról nem esik szó, és ezzel ezek a szabványok nem állnak egyedül. Például az MSZ EN 476:2012 és MSZ EN 14457:2004 szabvány kimondja, hogy a szennyvízvezetékek és csatornák korrózióval szembeni ellenállásának vizsgálatát a termékszabványokban lehet megadni.

A szennyvizeket illetően meg kell különböztetni a kommunális és a technológiai szennyvizet. A kommunális szennyvíz túlnyomórészt az ember házi, munkahelyi, kulturális, stb. tevékenységéből származik, és a csapadék (esővíz, hólé) mellett főképp fekáliát,

---

[1] Magyar Tudományos Akadémia „A magyar helyírás szabályai” tizenkettedik kiadása (Akadémiai Kiadó. Budapest, 2015, pp. 231. és 604.) szerint az előregyártott szó egybeírandó.

ételmaradékot, mosogatószert és tisztítószert is tartalmaz. A csapadék többnyire savas kémhatású (savas eső). A technológiai szennyvíz az ipari, élelmiszeripari, építőipari gyárak, üzemek gyártási és a mezőgazdasági termelőhelyek termelési szennyvize.

Biczók (1956, 1960) a szennyvizekkel kapcsolatban megállapította, hogy a betont a szervetlen és szerves savak egyaránt megtámadják. Az oldódásos betonkorróziót okozó leggyakoribb szervetlen sav a kénsav (H_2SO_4), a sósav (HCl) és a salétromsav (HNO_3), a szerves savak közül az ecetsav ($CH_3{\cdot}COOH$), a tejsav ($CH_3{\cdot}CHOH{\cdot}COOH$), a hangyasav (HCOOH), a csersav ($C_{14}H_{10}O_9$), amely utóbbiról – *Mihailich* et al. (1946) könyvére hivatkozva – azt írta, hogy felületi kezeléssel lehet ellene védekezni.

Krenkler (1980) szerint a cementkő főbb összetevői közül a szén-dioxid (CO_2) vizes oldatában a

kalcium-hidroxid, szabad ($Ca(OH)_2$)	erősen oldódik,
trikalcium-szilikát-hidrát ($3CaO{\cdot}2SiO_2{\cdot}H_2O$)	közepesen oldódik,
tetrakalcium-aluminát-hidrát ($4CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}H_2O$)	kissé oldódik,
tetrakalcium-aluminát-ferrit-hidrát ($4CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}Fe_2O_3{\cdot}H_2O$)	kissé oldódik.

Vízben oldott szén-dioxid, szénsav ott is jelen van, ahol a mikroorganizmusok működése következtében a szennyvízben lévő szerves anyagok elbomlanak. A víz szabad szén-dioxid-tartalma a betonra kémiailag akkor agresszív, ha mennyisége meghaladja az oldott kalcium-hidrokarbonát ($Ca(HCO_3)_2$) koncentrációjának megfelelő egyensúlyi szénsav mennyiséget. Ellenkező esetben a vízből mész válik ki mindaddig, amíg a kalcium-hidrokarbonát koncentráció az egyensúlyi szénsavnak megfelelő mértékre le nem csökken (*Biczók*, 1956, 1960).

Az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány 2. táblázata szerint a szennyvízben lévő, illetve a szennyvíztisztítás során felszabaduló agresszív CO_2-tartalom határértéke az XA2 környezeti osztályban legfeljebb 60 mg/liter, és az XA3 környezeti osztályban legfeljebb 100 mg/liter lehet.

A szervetlen savak hatására a cementkő kalcium-hidroxid ($Ca(OH)_2$)-tartalma oldható vegyületté alakul, a savgyöknek megfelelően $CaSO_4$, $CaCl_2$ vagy $Ca(NO_3)_2$ keletkezik. A kénsav hatására keletkező gipsz ($CaSO_4$) duzzadásos szulfátkorróziót okoz. A sósav sói közül az ammónium-klorid (NH_4Cl), alumínium-klorid ($AlCl_3$), magnézium-klorid ($MgCl_2$) káros. A salétromsav hatása erősebb, mint a kénsav hatása, sói közül az ammónium-nitrát (NH_4NO_3) a legkedvezőtlenebb a betonra (*Biczók* 1956, 1960).

A szerves savak a cementkő kalcium-hidroxid ($Ca(OH)_2$)-tartalmát oldatba viszik. Az ecetsav a beton kalcium-hidroxid-tartalmával jól oldódó kalcium-acetátot ($(CH_3COO)_2Ca$) képez. A tejsav a beton kalcium-hidroxid-tartalmát teljesen kioldja. A hangyasav hatása az ecetsav hatásához hasonló, csak a korróziós folyamat lassúbb (*Biczók* 1956, 1960).

A cukor ($C_{12}H_{22}O_{11}$) vízben oldódó szénhidrát. A cukoroldat nemcsak a cement kötésénél megdermedő gélanyagot, hanem a már megkötött és megszilárdult beton hidrát-kristályait is átalakítja (peptizálja), mintegy folyósítja (*Biczók* 1956, 1960).

A kommunális szennyvizekben előfordulhatnak klórozott szénhidrogén-tartalmú (CKW, például triklór-etilén-, metilén-diklorid-tartalmú) tisztítószerek és aromás szénhidrogén-tartalmú (AKW, például benzol-, toluol-tartalmú) oldószerek is (*Stein – Brauer* 2005).

A szennyvizek a betonanyagú csatornahálózatot korrodálhatják. A szennyvizekben lévő savak, bizonyos csere reakcióra képes sók, erős lúgok, szerves zsírok és olajok a beton *oldódásos korrózióját* okozzák. Az oldódásos korrózió során a cementkő kalcium-szilikát-, kalcium-aluminát- és kalcium-aluminát-ferrit-hidrátjai hidrolízissel felhasadnak és oldódnak, miközben kalcium-hidroxid ($CA(OH)_2$) képződik és ion-cserével könnyen oldódó sók keletkeznek, a mészkő és dolomit adalékanyagok korrodálnak. A szennyvízben oldott

szulfátok a beton *duzzadásos korrózióját* okozzák azáltal, hogy a cementkő aluminát-hidrátjaival és kalcium-hidroxidjával nagytérfogatú kristályokat képeznek, amelyek duzzadás közben a betont képesek teljesen összerepeszteni. A csatorna aknaelemek esetén nagy jelentősége van a *biogén kénsav-korróziónak*, amely a szennyvíz vízszintje feletti gáztérben károsítja a betont, különösen akkor, ha a szennyvíz hosszabb ideig nem folyik, vagy a csatorna végpontokon, vagy ha a csatorna nem szellőzik. A szulfát- szulfidionok diffúzióval és turbulenciával kerülnek a szennyvízből a gáztérbe és onnan a csatorna, illetve az akna falára, ahol elemi kénné alakulnak, és végül a csatorna falán élő thiobacilusok elengendő nedvesség esetén kénsavvá oxidálják. A kénsav megtámadja a betont, körszelvényű csatorna falán a szennyvízszint felett a biogén kénsav-korrózió éves előrehaladási mélysége mintegy 3 mm. (*Bosseler – Puhl* 2005)

Benedix (2008) szerint a háztartási szennyvizek a tensidek (mosó- és tisztítószerek) és a fekália mellett elsősorban foszfátokat tartalmaznak. A foszfátok főképp emberi ürülékből, kisebb részben mosó- és tisztítószerekből származnak. A mosó- és tisztítószerek agresszivitását elsősorban a lúgok (például nátrium-hidroxid, NaOH), illetve savak (például kénsav, H_2SO_4 vagy ecetsav, CH_3COOH) okozzák. A szennyvizek nitrát-tartalmának csak mintegy egyharmada ered a háztartásokból, a nagyobb rész forrása a mezőgazdaság (állattartás, ásványi trágya, szerves trágya).

Az ipari szennyvizek a különböző töménységű nehézfémek mellett gyakran szervetlen (sósav, HCl; kénsav, H_2SO_4; salétromsav, HNO_3) és szerves (ecetsav, CH_3COOH; tejsav, $CH_3CH(OH)COOH$; gyümölcssav) savakat tartalmaznak. A nehézfémek és szervetlen savak kibocsátója a fémfeldolgozó-ipar, a szerves savaké az élelmiszeripar, valamint a szesz- és élesztőipar (*Benedix* 2008).

Kind (1954, 1955) szerint a vízáramlás sebességének növekedése a savas korrózió hatását fokozza. A vízáramlás fokozatainak a (0,1-10,0) m/nap, (10,0 m/nap – 0,01 m/s), (0,01-0,2) m/s, (0,2-2,0) m/s és > 2,0 m/s határértékeket tekintették. A víz áramlási sebessége kötött (agyag és iszap) talajban kisebb, a nagyobb hézagtérfogatú szemcsés talajban nagyobb.

A hőmérséklet emelkedésével a kémiai reakciók sebessége, így az agresszív víz káros vegyi hatása is rohamosan növekszik. Ezt melegvízű források, ipari meleg vizek vezetékei stb. környékén figyelembe kell venni. Határértékként a különböző irodalmi források és előírások a (40-50) °C hőmérsékletet szokták megjelölni. Megemlítendő, hogy a melegvíz – némileg kisebb viszkozitása folytán – könnyebben mozog a talaj és a beton kapillárisaiban. Megjegyzendő az is, hogy a kötött talajok hidegebbek, mint a szemcsés talajok, ezért a kötött talajok ebből a szempontból is kevésbé korrózióveszélyesek (*Biczók* 1956, 1960).

2. Szennyvíz pH-értéke és keménysége

A víz *összes keménysége* a változó és az állandó keménység összege. A *változó keménységet* (karbonát-keménységet) a vízben oldott kalcium-hidrogén-karbonát ($Ca(HCO_3)_2$) és magnézium-hidrogén-karbonát ($Mg(HCO_3)_2$) mennyisége határozza meg, amely – tekintettel arra, hogy a pH-érték a vizes oldatban lévő hidrogénionok molban kifejezett anyagmennyiségének negatív logaritmusa – hatással van a víz pH-értékére. Az *állandó keménységet* a vízben oldott szulfátok (például kalcium-szulfát, $CaSO_4$; magnézium-szulfát, $MgSO_4$), kloridok (például kalcium-klorid, $CaCl_2$) és nitrátok (például kalcium-nitrát, $Ca(NO_3)_2$), egy szóval sók okozzák, amelyek a víz pH-értékére nincsenek hatással, mert a vizes oldatban lévő hidrogénionok mennyiségét nem befolyásolják.

A víz szabad szénsav-tartalma (szabad szén-dioxid-tartalma) a kalcium-hidrogén-karbonát ($Ca(HCO_3)_2$) és magnézium-hidrogén-karbonát ($Mg(HCO_3)_2$) oldatban tartásához szükséges egyensúlyi (tartalékos) szénsav (egyensúlyi szén-dioxid) és az agresszív szénsav (agresszív szén-dioxid) mennyiségének összege. Korróziós hatása az agresszív szénsavnak van. (*Hunkár* 1940, *Biczók* 1956).

A kommunális szennyvizek korrozív voltát általában a pH-érték alapján lehet megítélni, amelyen kívül például a szennyvíz hőmérsékletének, töménységének, hatásidejének, valamint a mechanikai igénybevételeknek van jelentősége (*1. táblázat*). A szennyvizekben előforduló szulfidok (fémeknek kénnel alkotott vegyületei) értékelése során arra kell tekintettel lenni, hogy csak az oldott állapotban lévő szulfidoknak egy, a pH-értéktől függő része okoz gáz alakban elillanó kénhidrogénként korróziót. Az oldott kénhidrogéneket a DIN 38405-26:1989 szabvány szerint lehet meghatározni (*Stein – Brauer* 2005, *Zementmerkblätter T3*).

1. táblázat: Betonkorrózió a pH-érték függvényében (*Zementmerkblätter T3*)

pH-Wert im Kondenswasser-tropfen an der Kanalwandung	Zell-zahlen	Angriffs-grad der Korrosion	Abtrag der Betonober-fläche pro Jahr	Sanierungs-maßnahmen erforderlich nach Jahren	Korrosionsschutz-maßnahmen
13 12 11 10 9 8 7					Dichter Beton, keine besonderen Maß-nahmen erforderlich
6	0 - 10^2	schwach	absandend	> 80	
5	10^3 - 10^5	mittel	< 0,5 mm	> 40	HS-Zement, Hartkalk-stein, Opferbeton
4 3 2 1 0	10^6 - 10^8	stark	> 0,5 mm	> 5	Schutz des Betons durch Auskleidungen

Biczók a könyveiben (1956, 1960) kifejtette, hogy a szulfátkorrózió a pH-érték csökkenésével, tehát a savasság növekedésével erősen fokozódik, mert a savas vizek oldó hatása erősebb. A savas víz megbontja és feloldja mindazokat a szilárdságadó betonalkotókat, amelyeket a tiszta víz nem képes feloldani. Ezért a régi magyar és legtöbb külföldi szabályzat a szulfát elleni védekezést a savasság fokának függvényében adta meg és fordítva. A meg nem nevezett magyar előírás tervezete táblázatának fejlécében (400-1000), (1000-2000) és (2000-4000) mg/liter SO_4-tartalom, oszlopában agyag- és iszaptalaj esetén (6,0-8,5) és (5,0-6,0) pH-érték, szemcsés talaj esetén (6,5-8,5) és (5,5-6,5) pH-érték állt. A korabeli általános német felfogás szerint a savas víz gyengén agresszív, ha pH-értéke (6,5-5,0) és erősen agresszív, ha pH < 5,0.

Szennyvíz pH-értékét az MSZ 260-4:1971 szabvány szerint (mérés indikátor papírral, elektropotenciometriás mérés, kolorimetriás mérés) lehet meghatározni.

A vizes oldatok, talajvizek pH-értékét az ISO 4316:1977 szabvány szerint (elektropotenciometriás mérés), az ivóvizek, felszíni és felszín alatti vizek, szennyvizek pH-értékét az MSZ 1484-22:2009 szabvány szerint (elektropotenciometriás mérés), az eső-, ivó-, ásvány-, fürdővizek, felszíni és felszín alatti vizek, kommunális és ipari szennyvizek, folyékony iszapok (eleven iszapok) pH-értékét az MSZ EN ISO 10523:2012 szabvány szerint (elektropotenciometriás mérés) lehet megvizsgálni.

Szennyvíziszap (üledék, eleveniszap) pH-értékének meghatározását az MSZ EN 12176:2000 szabvány szerint (elektropotenciometriás mérés folyékony iszapmintán vagy szuszpenzión) és a szennyvíziszap, kezelt biohulladék, friss és légszáraz állapotú termőföld és erdei talaj pH-értékének meghatározását az MSZ EN 15933:2013 szabvány szerint (elektropotenciometriás mérés vizes vagy kalcium-kloridoldatos szuszpenzióban) lehet végezni.

A pH-érték meghatározási szabványokban szereplő elektropotenciometriás módszer általában olyan elektrokémiai cella potenciálkülönbségének mérésén alapul, amelynek egyik félcellája a mérőelektród, másik félcellája a referenciaelektród. A mérőelektród potenciálja a mérőoldat hidrogénion koncentrációjának függvénye. A módszer általában pH = (2-12) közötti érték esetén alkalmazható.

Biczók (1956, 1960) szerint a betonkorrózió veszélyességét nem lehet csupán a szulfáttartalom és a pH-érték meghatározásával megállapítani. Ha a vízben egyidejűleg többféle agresszív ion van jelen, akkor azok hatását súlyozottan kell figyelembe venni:

- *Kis karbonát-keménység és savhatás* esetén elég a pH-érték alapján értékelni, mert a savasság rendszerint igen kis karbonát-keménységgel párosul. Ez fordítva nem áll fenn, mert a víz kis karbonát-keménységével nem jár együtt a savasság. A kis karbonát-keménység a beton kilúgozódását okozza.
- *Kis karbonát-keménység, sav- és szénsavhatás* jelenlétekor a pH-értéket a szabad $C0_2$ tartalom szabja meg, ha a víz más savat nem tartalmaz. Helyes, ha egyidejű kilúgozó és savhatás esetén a pH-érték és a szabad $C0_2$ tartalom közül a nagyobb agresszív hatású tényezőt vesszük figyelembe.
- *Nagyobb karbonát-keménység és szabad $C0_2$* tartalom esetén a pH-érték szintén alacsony lehet. Az agresszivitás fokát ilyenkor ezért helyesebb a szénsavhatás alapján kiértékelni.
- *Kis karbonát-keménység, sav, szénsav és szulfátionok* jelenlétében az agresszivitási fok megállapítása igen nehéz. A beton szulfátos korróziója lehetséges. A kis karbonát-keménységű és szabad savat tartalmazó víz nagyobb agresszivitású, ha szulfátot is tartalmaz, ugyanígy a szulfátos víz agresszivitása is nagyobb, ha egyidejűleg savakat is tartalmaz, vagyis a négy hatás egyidejű fellépése esetén az oldatot a betonra agresszívebbnek kell minősítenünk, mint az egyes hatások esetében külön-külön.
- *Kis karbonát-keménység, sav, szénsav, magnézium.* A magnéziumkorrózió a savas kilúgozó korrózióhoz hasonlít. A magnéziumkorrózió az első három tényező hatását fokozza, ezért a hatások összegezendők. Ha például a karbonát-keménység és a szénsav hatására a korrózió „közepes", a magnézium hatására pedig „gyenge", az agresszivitás végeredményben „jelentős".

Biczók a vizet keménység szerint a *2. táblázat* szerint jellemezte.

2. táblázat: A víz jellemzése keménység szerint (*Biczók* 1956, 1960)

A víz jellemzése keménység szerint	Karbonát-keménység	Összes keménység
	német keménységi fokban	
Igen lágy		0-4
Lágy	< 6	4-8
Közepesen kemény	6-15	8-12
Elég kemény		12-18
Kemény	15-24	18-25
Igen kemény	24-30	25-50
Rendkívül kemény	> 30	> 50

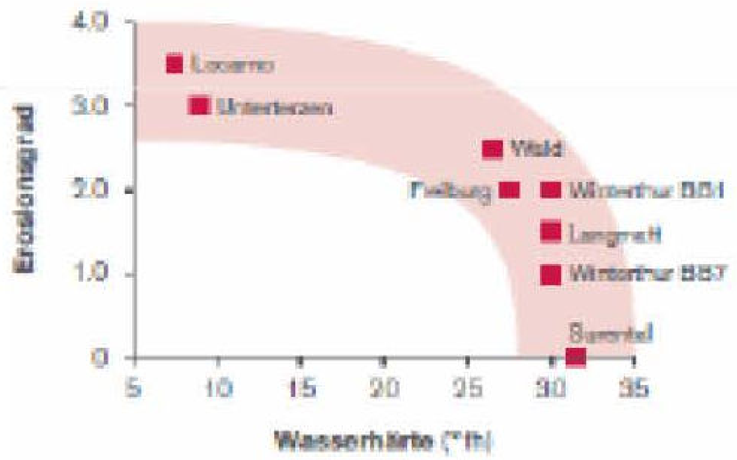
1 német keménységi foknak 1 liter vízben oldott 10 mg kalcium-oxid (CaO) vagy ezzel egyenértékű kalcium- vagy magnézium vegyület felel meg.

Az esővíz összes keménysége általában (2 – 3) nk°, tehát az esővíz nagyon lágy víz, és betonkorrózióra veszélyes.

Az *1. ábra* értelmében kemény, kalcium dús vízben a mész sók kevésbé oldódnak, ezért olyan vízben, amelynek összes keménysége 24° felett van, ritkán fordul elő komolyabb korrózió (*Biczók* 1956, 1960, *Huggenberger* 2010).

BETONSUISSE

Einfluss der Wasserhärte



- Betonerosion nimmt mit zunehmender Wasserhärte ab
- Linearer Zusammenhang vom Erosionsgrad und Wasserhärte scheint im Bereich von 25 ° bis 32 ° fH vorhanden zu sein.

Erosionsgrad als Funktion der Wasserhärte
im Zulauf von Biologiebecken

1. ábra: A szennyvíz keménységének növekedésével a beton kémiai korróziója csökken. 1 °fh francia vízkeménységi fok 0,560 °dH német (Magyarországon nk°) vízkeménységi fokkal, az ábrán kiemelt (25 – 32) °fh francia vízkeménységi fok (14 –18) °dH német vízkeménységi fokkal egyenértékű (*Huggenberger* 2010)

Bosseler és *Puhl* (2005) a szennyvizek és savak agresszivitását a cementhabarcsra a pH-érték függvényében a *3. táblázat* szerint adta meg. A DIN 4030-1:2008 szabvány az 5,5 – 6,5 közötti pH-értékű vizet gyengén agresszívnek, a 4,5 – 5,5 közötti pH-értékűt erősen agresszívnek és a 4,5-nél kisebb pH-értékűt erősen agresszívnek tekinti, ugyanúgy, ahogy az XA környezeti osztályok határértékeként az MSZ EN 206-1:2002 szabványban is szerepel.

3. táblázat: A szennyvizek és a savak agresszivitása a cementhabarcsra a pH-érték függvényében (*Bosseler – Puhl* 2005)

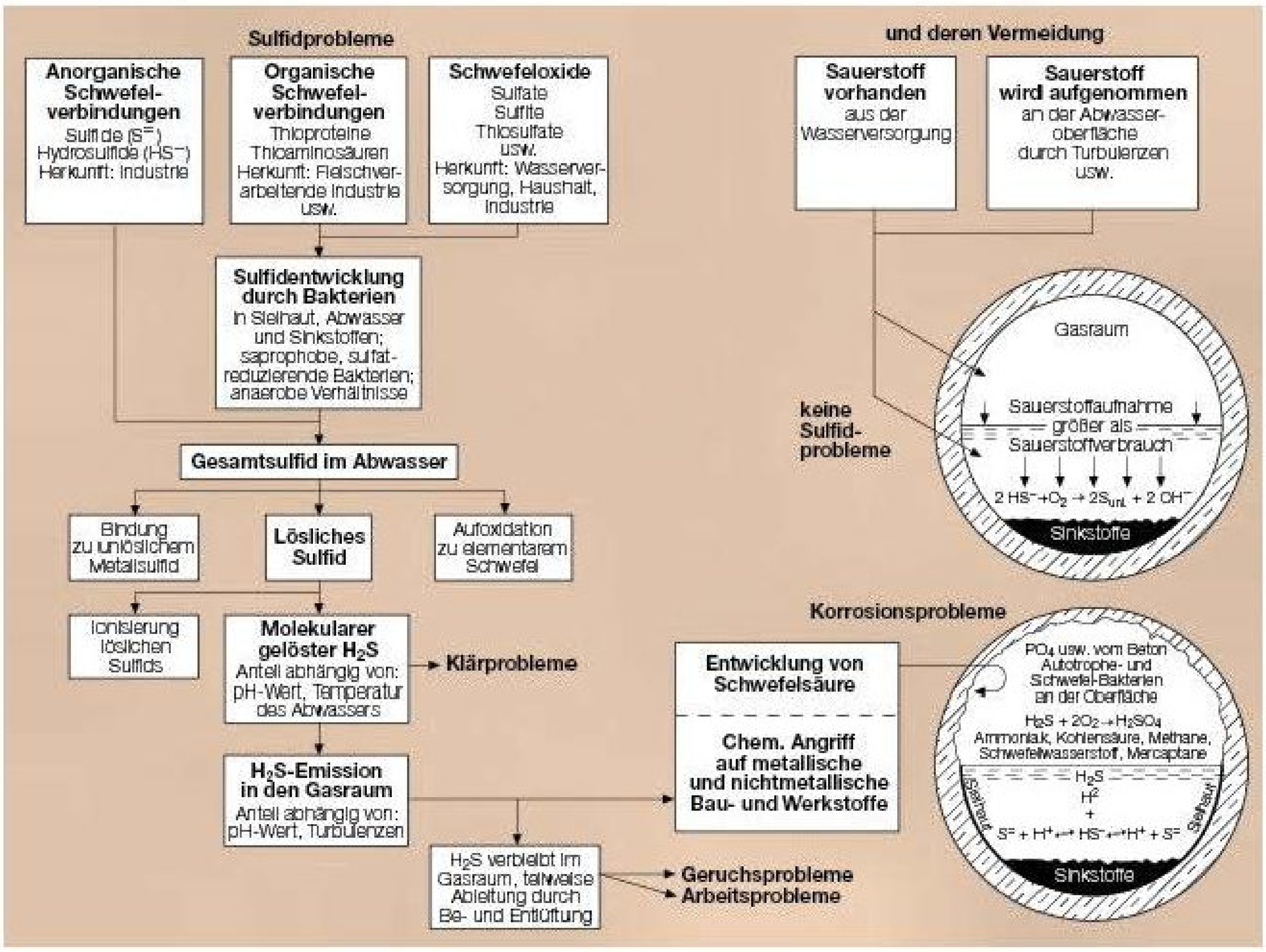
Ható közeg	pH-érték	Agresszivitás
Kommunális szennyvíz	6,6 – 10,0	Gyengén agresszív
Ipari szennyvíz	10,0 – 14,0	Agresszivitása a közepestől a nagyon erősig terjed
Esővíz	4,5 -7,0	Agresszivitása a gyengétől a közepesen savasig terjed
Szervetlen savak	3,0 – 4,5	Erősen savas agresszivitás
Szerves savak (például tejsav)	3,0 – 4,5	Erősen savas agresszivitás
Biogén kénsav	< 3,0	Nagyon erős savas agresszivitás

3. Biogén kénsav korrózió

Biczók (1956, 1960) szerint a kommunális szennyvíz csatornákban a korrózió a szennyvíz tükre felett észlelhető, mert ott a betont a szennyvízből – a kénvegyületeket redukáló bacilusok tevékenységének eredményeképpen – képződő kénhidrogén (H_2S) megtámadja. Ha a csatornafalon keresztül nincs átszivárgás, akkor a korrózió egyetlen okozója a kénhidrogén. Ahol kénhidrogén nincs, ott a kommunális betoncsatorna belsejében korrózió nem fordul elő. Ezt úgy kell pontosítani, hogy nem a kénhidrogén, hanem – az aerob baktériumok közreműködésével – a kénhidrogén oxidálódásával keletkező kénsav okozza a korróziót.

A biogén kénsav korrózió (BSK, Biogene Schwefelsäure-Korrosion) a szennyvíztükör felett áll elő azáltal, hogy bizonyos mikroorganizmusok képesek szulfátból közvetlenül

kénhidrogént előállítani (szulfátlégzés), míg mások a kénhidrogént képesek visszaalakítani szulfáttá. A jelenséget mikrobiális kénkörforgalomnak nevezik. A szennyvizek szerves és szervetlen kénvegyületeit a szennyvízben lévő bacilusok lebontják, így illékony kénvegyületek keletkeznek, és főleg kénhidrogén (H_2S) kerül a csatorna levegőjébe és falára. A csatorna falán a kénhidrogén oxigén jelenlétében, az ott élő szulfátképző (például thiotrix) aerob kénbacilusok hatására oxidálódik, miközben elemi kén is keletkezik ($2H_2S + O_2 = 2S + 2H_2O$). Az aerob kénbacilusok a nedves környezetben az elemi ként kénsavvá oxidálják ($2S + 3O_2 + 2H_2O = 2H_2SO_4$), amelynek hidrogénion koncentrációja akár pH < 1 is lehet (*Stein – Brauer* 2005, *Zementmerkblätter T3, 2. ábra*).



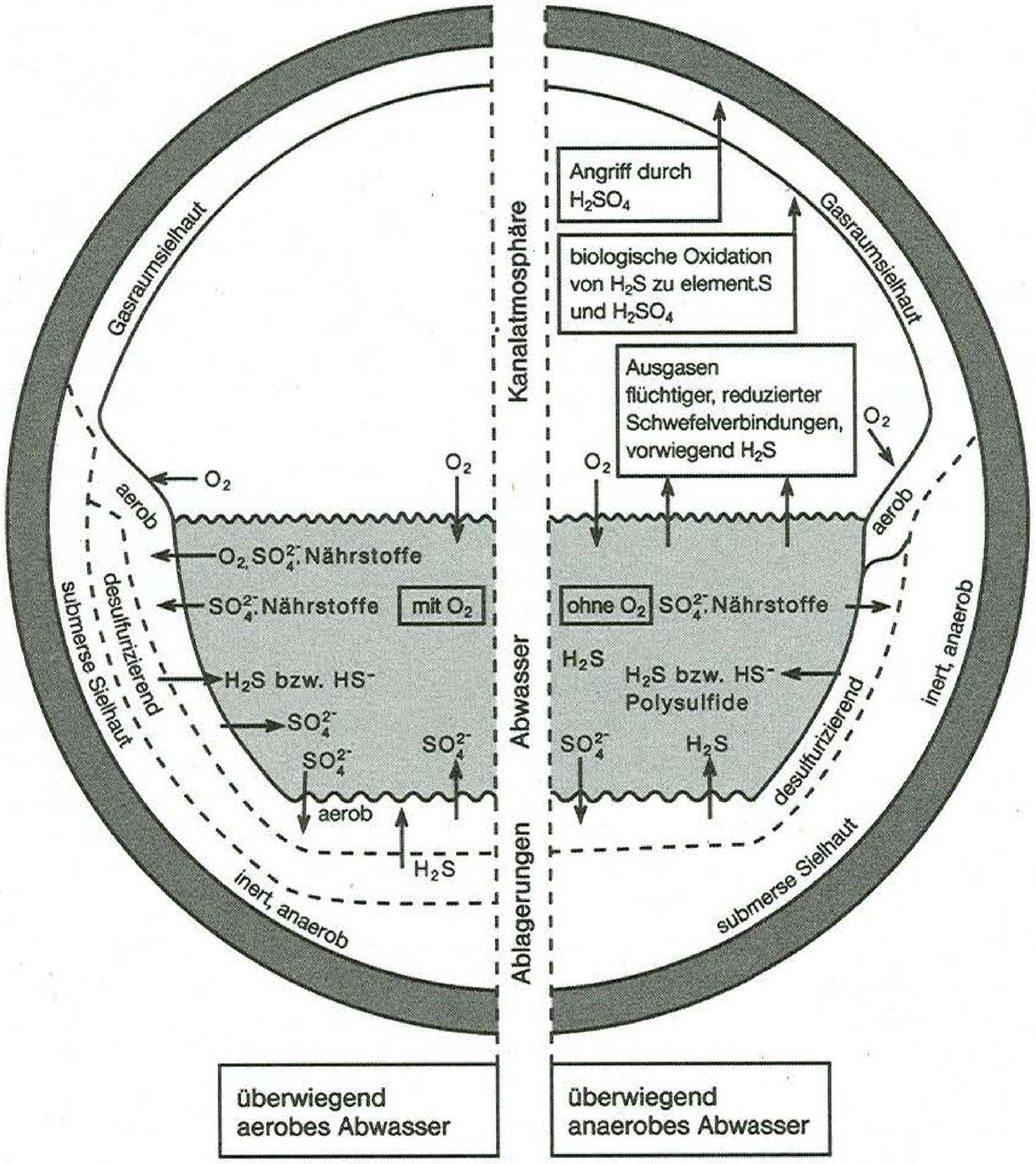
2. ábra: Kénsav korrózió a szennyvíz műtárgyakban (*Zementmerkblätter T3*)

Ha a szennyvíz hosszabb ideig tartózkodik a szennyvíz-tisztítómedencében és nem áll elegendő oxigén rendelkezésre, akkor a szennyvíz kénvegyületei – szulfátok (SO_4^{2-}), szulfitok (SO_3^{2-}), szulfidok (S^{2-}) – és a fehérjék aminosavakká bomlanak, miközben egyebek mellett kénhidrogén (H_2S) fejlődik. A kénhidrogén diffundál a szennyvízből, és a szennyvíz szintje fölött a csatornafalon lecsapódik, ahol oxidációval elemi kén képződik. Az elemi ként kiváltképp a fonal alakú thiobacilusok (kénbacilusok) energiaforrásként használják, és egyéb anyagok között a betont is károsító kénsavvá (H_2SO_4) alakítják, miközben a pH-érték 1,0 értékre is eshet. A thiobacilusok optimálisan 1,0 és 3,5 pH-érték között működnek. A kénsav-korrózió tulajdonképpen oldódásos betonkorrózió, de a szulfátok hatására járulékos duzzadásos betonkorrózióval, gipsz és másodlagos ettringit képződéssel is jár. A kénsav-korróziót mérsékelendő törekedni kell a thiobacilusok anaerob életfeltételének csökkentésére. Például a rothasztómedencében, ahol a gáztérben nagyon nagy a kénhidrogén-tartalom, oxigén hiányában nem kell kénsav-korrózióval számolni (*Dillmann* 2007 és *DWA-M 211:2008*).

A német DWA-M 168:2010 műszaki irányelv a szennyvíz építmények, csatornák és aknák korróziójával foglalkozik, beleértve a szennyvíz-tisztító telepek létesítményeit is. A műszaki

irányelvben feltételezik, hogy a kommunális szennyvíz a háztartási vizen kívül csapadékvizet, ipari szennyvizet és egyéb nem kívánt vizet is tartalmazhat.

A DWA-M 168:2010 műszaki irányelvben részletesen foglalkoznak a biogén kénsav korrózióval, amely a szennyvíz csatornák betonfalán lép fel a kénbacilusok tevékenységének hatására. A szulfátok (SO_4^{2-}), nitrátok (NO_3^-), foszfátok (PO_4^{3-}), az oxigén és a szerves anyagok diffundálnak a szennyvízből a csatorna falán lévő kéregbe és az üledékbe. Oxigén hiány esetén a csatornafalon és a szennyvíz üledékben (eleveniszapban) a kén- és a fehérje-vegyületek mikrobiológiai redukciója zajlik, az anaerob, szulfátredukáló (deszulfurikáló) baktériumok megkezdik a szulfátok (SO_4^{2-}) redukálását szulfiddá (S^{2-}), kénhidrogénné (H_2S). A szulfid, illetve kénhidrogén akadálytalanul diffundál a szennyvíz irányába, miközben át kell haladjon a felületi kéreg, illetve az üledék felső, aerob rétegén, a biofilmen. A biofilmben aerob, savtűrő thiobacilusok élnek, amelyek a kénhidrogént oxigén jelenlétében képesek kénsavvá oxidálni, miáltal a redukált kénvegyületek (szulfid, kénhidrogén) még mielőtt bejutnak a szennyvízbe, megint szulfáttá (SO_4^{2-}), kénsavvá (H_2SO_4) oxidálódnak (*3. ábra*).



3. ábra: Kén körforgása a csatornában, bal oldalon aerob feltételek, jobb oldalon anaerob feltételek fennállása esetén (*DWA-M 211:2008*)

Különösen a meleg és kis szennyvíz-mozgással járó időszakokban kell erős biogén kénsav-képződésre számítani a csatorna boltozat felső részén, ahol kis pH-érték esetén nagyon erős kémiai korrózió léphet fel. Minél kisebb a szennyvíz pH-értéke, annál nagyobb az összes kénvegyületben a kénhidrogén arány és a valószínűsége annak, hogy a kénhidrogén a csatorna levegőjébe jutva – azon kívül, hogy kénsavvá alakul és korróziót okoz – fulladásos, életveszélyes állapotot is teremt. A szennyvízben lévő kénnek csak egy, a pH-értéktől függő része jelenik meg a csatornában kénhidrogénként, illetve kénsavként, és felelős a korrózióért. A kén más része nem oldott, hanem fémekhez kötött formában fordul elő a szennyvízben. A rothadó szennyvíz például a fekete színét a finoman eloszlott vas(II)-szulfidnak (FeS)

köszönheti. A nem oldott szulfidokból általános körülmények között nem képződik kénhidrogén. Ezért a korrózió veszélyének megítélése során a szennyvíz meghatározott összes szulfid-tartalmából le kell vonni a nem oldott szulfid mennyiségét. Az erősen rothadó háztartási szennyvízben a nem oldott szulfidok az összes szulfid-tartalomnak mintegy 50 %-át teszik ki (*DWA-M 168:2010*).

4. Biogén salétromsav korrózió

A svájci CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010 műszaki irányelvben a kommunális szennyvíztisztító építmények (ARA) vasbeton *biológiai medencéinek* kopással együtt fellépő oldódásos betonkorróziójával foglalkoznak. A biológiai medencében a rendelkezésre álló oxigén függvényében, bacilusok hatására, anaerob (redukáló) vagy aerob (oxidáló) folyamatok zajlanak, de a svájci műszaki irányelv a szulfofikáló (szulfátképző) bacilusok fejlesztette kénsav okozta, szennyvíztükör feletti oldódásos korróziót (biogén kénsav korrózió) nem tárgyalja.

A kommunális szennyvíz a biológiai medencében a bacilusok hatására általában oldódásos korróziót okoz, de számítani kell a szulfáttartalom okozta duzzadásos korrózióra is. A szennyvíz okozta kémiai korróziót a biológiai medencében a szennyvíz összetétele, a biofilm, a lejátszódó vegyi folyamat, a technológiából vagy a medencetisztításból eredő mechanikai igénybevétel, a víz keménysége befolyásolja.

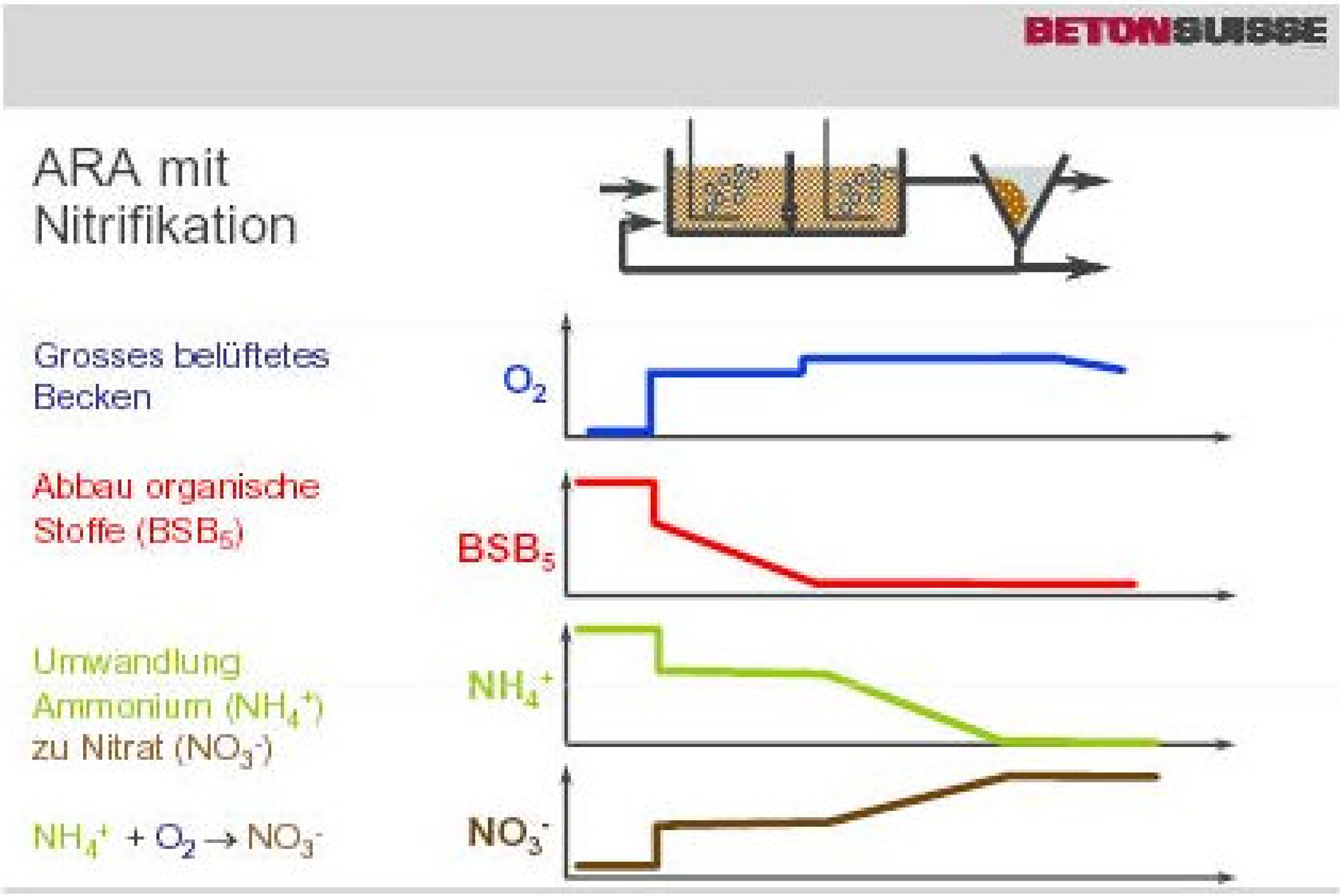
A beton felületén lévő biofilm hidrogénion koncentrációja helyenként például pH = (4 – 5) értékre is süllyedhet, annak ellenére, hogy a szennyvíz hidrogénion koncentrációja mintegy pH = 7, amely körülmény a beton oldódásos korrózióját okozza. Ha szennyvíz hidrogénion koncentrációja pH > 7, akkor a szennyvízben, például hidrogén-karbonát (HCO_3-) formájában jelenlévő karbonát egy része és a betonból oldott mészhidrát ($Ca(OH)_2$) a beton felületén vékony kalcium-hidrokarbonát ($Ca(HCO_3)$), illetve kalcium-karbonát ($CaCO_3$) védőréteget képez, és a beton további korrózióját – beleértve a savhatás okozta korróziót is – lassítja. Nagy vízkeménység esetén ez a karbonát-védőréteg egyre vastagabb lesz. A betonfelület mechanikai igénybevétele (például a csatorna vagy medence tisztítása alkalmával) viszont ezt a védőréteget megbonthatja, és ezzel a betonkorróziót, beleértve a felületi kopást is, meggyorsíthatja (*CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010*).

A csatornákban nem csak kénbacilusok, hanem nitrogénbaktériumok, úgy nevezett nitrifikáló és denitrifikáló baktériumok is élnek.

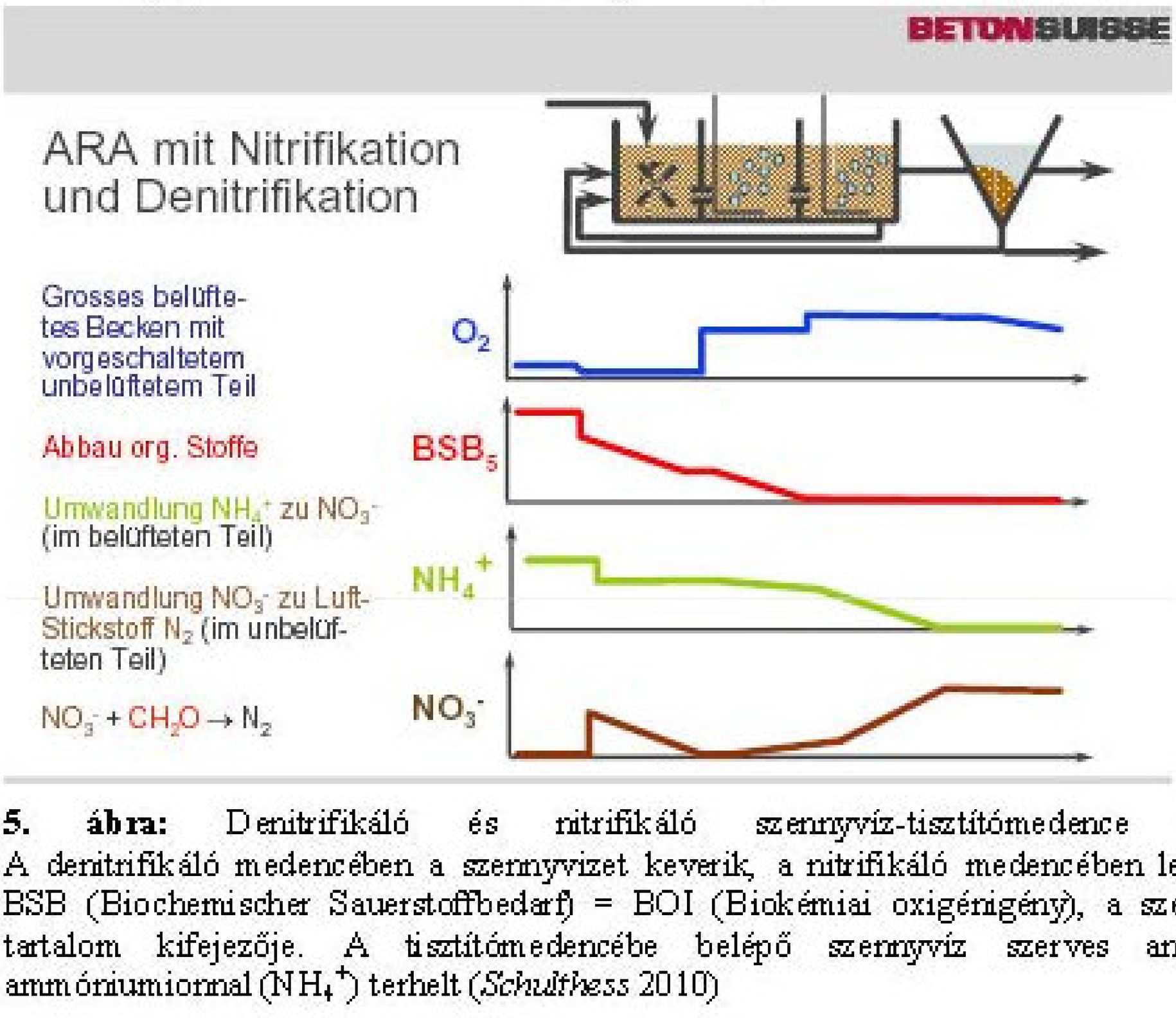
A nitrifikáló baktériumok oxigéndús környezetben a szennyvíz ammónia-tartalmát (ammónium-hidroxid, NH_3) először nitritté (NO_2^-), majd nitráttá (NO_3^-) oxidálják, miközben H^+ hidrogénionok válnak szabaddá (nitrifikáció), majd salétromossav (HNO_2), illetve salétromsav (HNO_3) képződik (*4. ábra*).

A denitrifikáló baktériumok hatására oxigén hiányos környezetben a nitrogénvegyületek, például salétromsavas sók (például kálium-nitrát, KNO_3; nátrium-nitrát, $NaNO_3$), nitrátionok (NO_3^-) átalakulnak nitritionná (NO_2-), dinitrogén-oxiddá (N_2O), nitrogéngázzá (N_2) (*5. ábra*).

Azokban a szennyvíz-tisztítómedencékben, amelyekben főképp nitrifikáció játszódik le, a betonkorrózió a legnagyobb. Ha a medencékben denitrifikáló baktériumok tevékenységének eredményeképpen a nitrogéntartalmú ionok visszaalakítása elemi nitrogénné is folyik, a betonkorrózió kisebb (*6. ábra*).

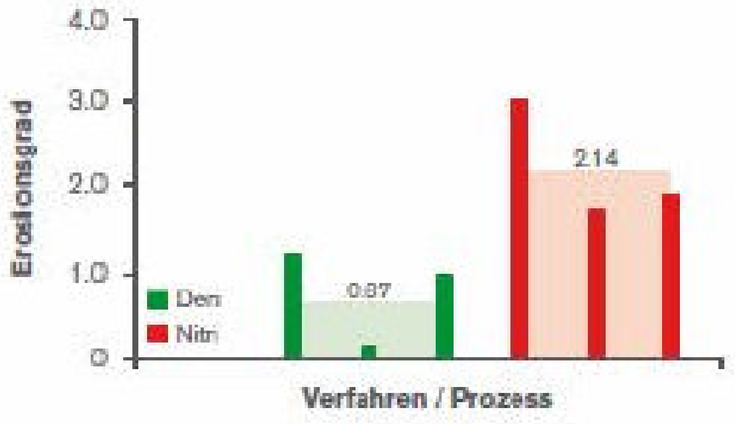


4. ábra: Nitrifikáló szennyvíz-tisztítómedence működése. A nitrifikáló medencében a szennyvizet levegőztetik. BSB (Biochemischer Sauerstoffbedarf) = BOI (Biokéniai oxigénigény), a szervesanyag-tartalom kifejezője. A tisztítómedencébe belépő szennyvíz szerves anyaggal és ammóniumionnal (NH_4^+) terhelt (*Schulthess* 2010)



5. ábra: Denitrifikáló és nitrifikáló szennyvíz-tisztítómedence működése. A denitrifikáló medencében a szennyvizet keverik, a nitrifikáló medencében levegőztetik. BSB (Biochemischer Sauerstoffbedarf) = BOI (Biokéniai oxigénigény), a szervesanyag-tartalom kifejezője. A tisztítómedencébe belépő szennyvíz szerves anyaggal és ammóniumionnal (NH_4^+) terhelt (*Schulthess* 2010)

Betonerosion und Nitrifikation / Denitrifikation



- Auswertung bei Berücksichtigung aller Biologiebecken

Erosion Nitrifikationsbecken > Denitrifikationsbecken

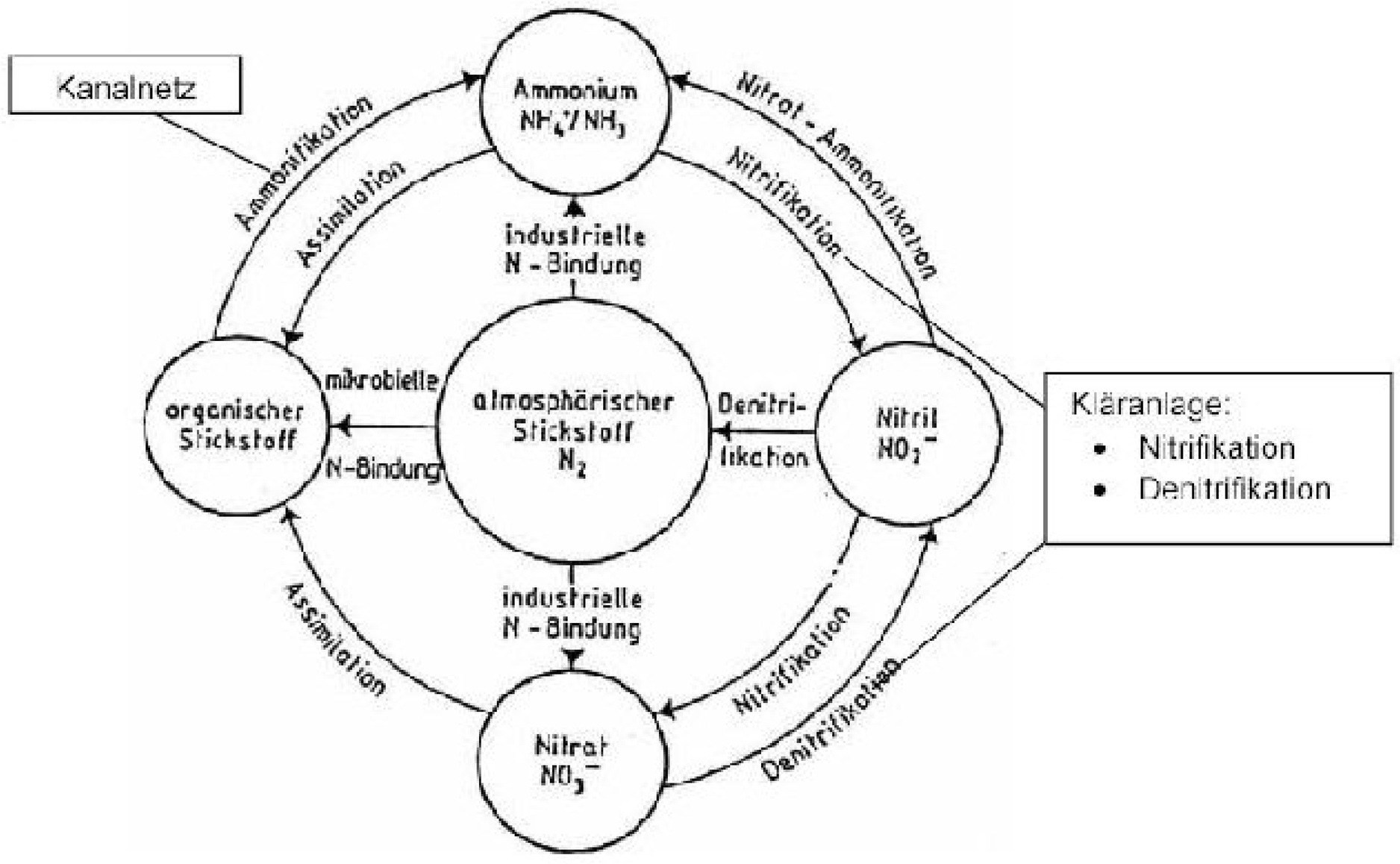
Erosionsgrad nitrifizierende (N) / denitrifizierende (D) Zone einer Anlage

6. ábra: Szennyvíz-tisztítómedencék betonkorróziója denitrifikáció+nitrifikáció és csak nitrifikáció esetén (*Huggenberger* 2010)

A beton korrózióját csökkenteni lehet a denitrifikáció elősegítésével, a mechanikai igénybevétel csökkentésével, vagy a szennyvízhez például mésztej adagolással a pH-érték (a lúgosság) növelése érdekében (CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010).

Úgy tartják, hogy a kommunális szennyvízben az összes nitrogén-tartalom 10 mg/l felett van, ezen belül a szerves anyagból származó nitrogén mennyisége 50 % vagy több.

Az nitrogén körforgása *Theilen* (é.n.) ábráján tanulmányozható (*7. ábra*).



7. ábra: A nitrogén körforgásának vázlata (*Theilen* é.n.)

Az összes szervetlen nitrogén-tartalmat az ammónium-nitrogén (NH_4-N), a nitrit-nitrogén (NO_2-N) és a nitrát-nitrogén (NO_3-N) összege adja, amelyhez a szerves anyag eredetű nitrogén mennyiségét hozzáadva a szennyvíz összes nitrogén-tartalmát kapjuk meg.

Kausay, 2013-2017.

Az ammónium-nitrogént az MSZ EN ISO 11732:2005 szabvány, a nitrit-nitrogént és a nitrát-nitrogént, valamint e két utóbbi összegét (ezt nitrit/nitrát-nak nevezik) az MSZ EN ISO 13395:1999 szabvány szerint lehet meghatározni. Az ammónium-nitrogén-, nitrit-nitrogén- és nitrát-nitrogén-tartalom összege az ISO 15705:2002 (DIN ISO 15705:2003) szabvány szerinti fotometriai küvettás eljárással (CSB-Bestimmung, kémiai oxigénigény meghatározás) is meghatározható víz és szennyvíz mintában egyaránt (*Theilen* é.n.).

A szerves anyag eredetű nitrogén-tartalom az összes *Kjeldahl*-féle nitrogén-tartalom és az ammónium-tartalom különbségeként számítható (*Theilen* é.n.). A *Kjeldahl*-féle nitrogén-tartalom meghatározás során a mintát tömény kénsavval (H_2SO_4) forralva a nitrogén ammónium-szulfát $(NH_4)_2SO_4$ formájában oldatba kerül. Ehhez az oldathoz fölös mennyiségű nátrium-hidroxidot (NaOH) adva a ammónium-szulfát ammóniává (NH_3) alakul. A mintában lévő nitrogén mennyisége a kapott oldatban lévő ammónia (ammónium-hidroxid, NH_3) mennyiségéből számítható.

5. Állati és növényi zsírok és olajok, szénhidrogének okozta korrózió

Az állati és növényi zsírok és olajok, valamint a szénhidrogének (ásvány- és kenőolajok, viaszok, paraffinok stb.) általában csak akkor okoznak betonkorróziót, ha savakat tartalmaznak vagy képezni tudnak. Zsírok és olajok okozta korrózió eddig csak néhány bizonyos kibocsátó (például élelmiszeripar, vendéglátóipar) szennyvize nyomán támadt. Az ásványolaj-szénhidrogének általában savmentesek és betonkorrózió szempontjából veszélytelenek (*DWA-M 168:2010*). A kedvezőtlen körülmények esetén létrejövő, állati és növényi zsírok és olajok okozta betonkorrózió elkerülésére a DWA-M 115-2:2005 műszaki előírás szerint legfeljebb 300 mg/liter lipofil anyag (zsírokban és olajokban igen jól, vízben kevéssé oldódó, illetve zsírokat és olajokat jól oldó anyag, itt azonban valószínűleg a zsírok és olajok összefoglaló neve) lehet a csatornába bocsátott *nem háztartási* szennyvízben. A nem háztartási szennyvíz alatt az üzemi és ipari szennyvizet, valamint a hasonló létesítmények szennyvizét kell érteni (*7. táblázat*).

Az oldószerek a betont nem támadják meg (*DWA-M 168:2010*).

6. Biokémiai oxigénigény, kémiai oxigénigény, kálium-permanganát-igény

A vízben oldott oxigén az élő víz fontos paramétere, amely a vízben végbemenő életfolyamatokhoz használódik fel. Az oxigénigény a mérőszámok egyike, amelyet a szennyvizek szerves anyagainak összetett jellegére tekintettel, az egyedi szerves összetevők minőségi és mennyiségi meghatározása helyett a szennyvizek szennyezettségének kifejezésére használnak. E mérőszámok egyike a biokémiai oxigénigény (BOI), a másik a kémiai oxigénigény (KOI)..

A *biokémiai oxigénigény* meghatározás eredménye biokémiai és kémiai reakciók kombinációjának következménye. A meghatározást az MSZ EN 1899 szabványsorozat szerint kell végezni, amely európai szabvány az ISO 5815:1989 nemzetközi szabvány módosított változata. A biokémiai oxigénigény (BOI) meghatározásának elárása a biológiailag könnyen lebontható anyagokra terjed ki.

Ha a biokémiai oxigénigény értéke BOI = (0,5 – 6,0) mg/liter közé esik, akkor az 5 napos biokémiai oxigénigényt hígítatlan vízmintán az MSZ EN 1899-2:2000 szabvány szerint kell meghatározni.

Ha a biokémiai oxigénigény értéke BOI = (3 – 6000) mg/liter közé esik, akkor az 5 napos biokémiai oxigénigényt hígított szennyvízmintán az MSZ EN 1899-1:2000 szabvány szerint kell meghatározni.

Vízvédelmi minősítés (*Burucs* 2011) alapján kimondható, hogy

$BOI_5 \leq$ 2 mg/liter esetén a víz nagyon tiszta, figyelemre méltó szerves hulladékot nem tartalmaz;

$BOI_5 =$ (2-4) mg/liter esetén a szennyvíz mérsékelten tiszta, kissé szennyezett;

$BOI_5 =$ (4-10) mg/liter esetén a szennyvíz szennyezett, szerves hulladékot és baktériumokat tartalmaz;

$BOI_5 =$ (10-40) mg/liter esetén a szennyvíz erősen szennyezett, szerves hulladékot és baktériumokat tartalmaz;

$BOI_5 =$ (40-120) mg/liter esetén a szennyvíz nagyon szennyezett, számottevő szerves hulladékot és baktériumokat tartalmaz;

$BOI_5 \geq$ 120 mg/liter esetén a szennyvíz rendkívül szennyezett, szerves hulladék tartalma igen nagy.

A biokémiai oxigénigény mutatóinak meghatározása hosszas vizsgálatot igényel, ezért az oxigénigény lényegesen gyorsabb meghatározására vezették be a kémiai oxigénigény (KOI) mérőszámot. A KOI mérés egyszerűsége és kisebb időigénye miatt jobban elterjedt a gyakorlatban, mint a BOI meghatározás, annak ellenére, hogy a természetben lejátszódó folyamatokat a BOI értéke modellezi jobban (*Burucs* 2011).

A *kémiai oxigénigényt* régebben az MSZ ISO 6060:1991 szabvány szerint kellett, ma az ISO 15705:2002 (DIN ISO 15705:2003) szabvány szerint kell megmérni. A módszer a KOI = (30 – 700) mg/liter értékű szennyvizek esetén hígítás nélkül, a 700 mg/liter feletti KOI-értékű szennyvízminták esetén hígított mintán alkalmazható. A vizsgálat során a szennyvízmintát kálium-dikromát ($K_2Cr_2O_7$) referenciaoldattal kell kezelni, ezért a vizsgálat eredményét dikromátos kémiai oxigénigénynek (KOI_k, esetleg KOI_d) nevezik. A kémiai oxigénigény (KOI_k) meghatározásának eljárása minden kémiailag oxidálható szerves és szervetlen anyagra kiterjed.

Vízvédelmi minősítés (*Burucs* 2011) alapján kimondható, hogy

$KOI_k \leq$ 2 mg/liter esetén a víz nagyon tiszta, figyelemre méltó szerves hulladékot nem tartalmaz;

$KOI_k =$ (2-6) mg/liter esetén a szennyvíz mérsékelten tiszta, kissé szennyezett;

$KOI_k =$ (6-25) mg/liter esetén a szennyvíz szennyezett, szerves hulladékot és baktériumokat tartalmaz;

$KOI_k =$ (25-70) mg/liter esetén a szennyvíz erősen szennyezett, szerves hulladékot és baktériumokat tartalmaz;

$KOI_k =$ (70-200) mg/liter esetén a szennyvíz nagyon szennyezett, számottevő szerves hulladékot és baktériumokat tartalmaz;

$KOI_k \geq$ 200 mg/liter esetén a szennyvíz rendkívül szennyezett, szerves hulladék tartalma igen nagy.

A szerves anyagok lebonthatóságát jól kifejezi a $KOI_{k,összes}/BOI_5$ viszonyszám, amely például kommunális szennyvíz esetén (könnyen lebontható szerves anyagok): $KOI_{k,összes}/BOI_5 < 2$ és ipari szennyvíz esetén (nehezen lebontható szerves anyagok): $KOI_{k,összes}/BOI_5 > 2$ (*Beck – Hofer* 2005, 2011).

A biokémiai oxigénigényhez (BOI) és a kémiai oxigénigényhez (KOI) hasonló, a szervesanyag-tartalmat kifejező, kevésbé elterjedt fogalom, a *kálium-permanganát-igény*, amelyet a DIN 4030-2:2008 szabvány szerint lehet meghatározni. A kálium-permanganát-igény vizsgálat a tiszta és csak kissé szennyezett vizek könnyen oxidálható szén- és nitrogénvegyületei meghatározására alkalmas azáltal, hogy a kálium-permanganát

a szerves anyagokat oxidálja, miközben maga redukálódik, és elveszti ibolyakék színét. Az elszíneződéshez tartozó kálium-permanganát-oldat mennyisége a vízmintában lévő szervesanyag-tartalommal arányos.

A vizsgálathoz segédoldatként olyan töménységű oxalát-oldatot használnak, amelynek térfogategysége épp egységnyi térfogatú kálium-permanganát-oldatot redukál és színez el. Az alkalmazott oxalát-oldat egy milliliteréhez tehát pontosan egy milliliter kálium-permanganát-oldat tartozik. Ha a szerves anyagot ismeretlen koncentrációban tartalmazó olyan vízmintához, amelynek a kálium-permanganát-oldat-igénye például csak 4 ml, 15 ml kálium-permanganát-oldatot adnak, akkor a vízmintában 11 ml fölösleges kálium-permanganát-oldat marad, a színe pedig ettől ibolyakék lesz. Ehhez az oldathoz 15 ml fehér színű oxalát-oldatot adva a fölöslegben lévő 11 ml kálium-permanganát-oldat redukálódik (az oldat színtelenné válik), az oxalát-oldat oxidálódik, és belőle az oldatban 4 ml felesleges oxalát-oldat marad. E felesleges oxalát-oldat mennyisége arányos a meghatározni kívánt szerves anyag mennyiségével. Más szóval, a hozzáöntött oxalát-oldatnak – miután egy része reagált a felesleges kálium-permanganát-oldattal – feleslegként a szerves anyaggal arányos része marad meg, amelyet titrálással kell meghatározni. Utolsó lépésként az oldathoz lassan kálium-permanganát-oldatot csöpögtetnek addig, amíg a felesleges oxalát-oldat nem oxidálódik, és az oldat ibolyakék színűvé nem válik (titrálás). A kálium-permanganát kicsapódása ellen protondonátorként (hidrogénion (H^+)-adományozóként) kénsavat (H_2SO_4) használnak: permanganátion + oxalátion + kénsav oxóniumionja → mangánion + szén-dioxid + víz:

$$2MnO_4^- + 5C_2O_4^{2-} + 16H_3O^+ \rightarrow 2Mn^{2+} + 10CO_2 + 24H_2O$$

A titráláshoz felhasznált, milliliterben kifejezett kálium-permanganát-oldat mennyiségét (mérőoldat fogyást) megszorozva az átszámítási tényezővel (3,2), a vízmintában lévő szervesanyag-tartalmat kapják meg mg/literben (*Lieshoff* et al. 2006).

A fenn tárgyalt kémiai oxigénigény (KOI) vizsgálata során oxidálószerként kálium-dikromátot használnak, amelynek oxidálóképessége erősebb, mint az itt szóban forgó kálium-permanganáté ($KMnO_4$). A kálium-permanganát-igény általában nagyobb, mint a biokémiai oxigénigény (BOI), mert a kémiai reakcióban nem csak a biológiailag leépülő összetevők vesznek részt. A kálium-permanganát-igény értéke tiszta, illetve kissé szennyezett vizek esetén 12 mg/liter alatt mozog, szennyvizekben a (300-700) mg/liter értéket is eléri. A bielefeldi vízkörnyezettani munkaközösség (*Lieshoff* et al. 2006) az észak-rajna-vesztfáliai Lutter patak vizével végzett kísérletek eredményeképpen a *4. táblázat* szerinti vízminőségi osztályokat állította fel.

4. táblázat: Vízminőségi osztályok a kálium-permanganát-igényből meghatározott szervesanyag-tartalom alapján (*Lieshoff* et al. 2006)

Vízminőségi osztály	Szervesanyag-tartalom, mg/liter
I.	≤ 6
I – II.	> 6 és ≤ 10
II.	> 10 és ≤ 15
II – III.	> 15 és ≤ 60
III.	> 60 és ≤ 100
III – IV.	> 100 és ≤ 150
IV.	> 150

7. Követelmény a szennyvíz összetételére

A vizek agresszivitásával szembeni védelem inverz értelemben is fontos lehet, ilyenkor a *környezetet kell védeni* a beton műtárgyakban lévő szennyezett vizektől. A felszíni vizek védelméről hazánkban a 220/2004 (VII. 21.) Korm. rendelet intézkedik. Felszíni víz alatt a föld felszínén lévő állóvizek (így különösen: tó, bányató, mocsár, tározó), vízfolyások

(így például: folyam, folyó, patak, ér, csatornák, időszakos vízfolyás, vízmosás) vizét kell érteni. A 220/2004 (VII. 21.) Korm. rendelet 2. számú mellékletének 2.9. szakaszában ugyanazokat a szennyező, közcsatornát károsító anyagokat sorolják fel, mint a 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendeletben, de a Korm. rendelet 17. §-a szerint a közcsatornába bocsátható szennyvíz szennyezőanyag-tartalmának mértékét (a küszöbértéket) a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól szóló miniszteri rendelet (28/2004. (XII. 25.) KvVM) határozza meg.

A vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól szóló 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet 4. számú melléklete a közcsatornába bocsátható szennyvizek szennyezőanyag tartalmának küszöbértékeit tartalmazza, amely küszöbértékek kivonatát a nem veszélyes és nem mérgező anyagokra az *5. táblázatban* tüntettük fel. Küszöbérték alatt a jogszabályban, jogszabályi keretek között hatósági határozatban meghatározott kibocsátási határértéket kell érteni, mely a közcsatornába vezethető szennyező anyag minőségét és megengedett mértékét határozza meg.

A német DWA-M 168:2010 műszaki irányelv 2. táblázata a tartósan a közcsatornába ereszthető kommunális szennyvíz összetételére irányszámokat ad. Ha ezeket az irányszámokat a szennyvíz összetétele nem lépi túl, akkor várható, hogy a beton a szennyvíz agresszív kémiai hatásának tartósan ellenáll (*6. táblázat*). A DWA-M 168:2010 műszaki irányelv 3. táblázatában arra az esetre találhatók a 2. táblázatbelinél lényegesen enyhébb irányszámok, illetve még ezeknél enyhébb követelmények, ha a betoncsatornában ideiglenesen, illetve rövid ideig folyik szennyvíz. Az ideiglenes szennyvíz-folyás alatt azt értik, hogy ha például 10 üzemi év alatt a csatornában nagyságrendileg legfeljebb egy évig folyik szennyvíz. Rövid időnek számít, ha legfeljebb hetente egyszer legfeljebb egy órán át folyik a csatornában a megadott irányértéknél szennyezettebb szennyvíz.

5. táblázat: Közcsatornába bocsátható szennyvizek nem veszélyes és nem mérgező szennyezőanyag tartalmának küszöbértéke a 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet 4. számú melléklete szerint (a táblázat kivonat, csak tájékoztató jellegű)

Sorszám	Megnevezés		Küszöbérték
1.	pH-érték	megengedett legnagyobb	10,0
		megengedett legkisebb	6,5
Oxigénigény			Megengedett legnagyobb érték, mg/liter
2.	Kémiai oxigénigény, dikromátos, KOI_k		1000
3.	Biokémiai oxigénigény, 5 napos, BOI_5		500
Szennyező anyagok			Megengedett legnagyobb érték, mg/liter
4.	Összes szervetlen nitrogén		120
5.	Összes nitrogén		150
6.	Összes ammónia/ammónium-ból meghatározott nitrogén		100
7.	10 perc alatt ülepedő anyag		150
8.	Összes foszfor, $P_{összes}$		20
9,	Összes oldószer extrakt (olajok, zsírok)		50
10.	Ásványi olajok		10
11.	Fenolok (Fenol-index)		10
12.	Kátrány		5
13.	Összes vas		20
14.	Összes mangán		5
15.	Szulfid		1
16.	Szulfát		400
17.	Aktív klór		30
18.	Összes só		2500
19.	Fluoridok		50

Kausay, 2013-2017.

6. táblázat: A szennyvíz agresszív kémiai hatásának tartósan ellenálló, betonanyagú közcsatornába ereszthető szennyvíz összetételének határértékei a német DWA-M 168:2010 műszaki irányelv 2. táblázata szerint

Korrózió típusa	Szennyvíz jellemzője, illetve káros összetevőjének megnevezése	Szennyvíz jellemzőjének értéke, illetve a káros összetevő megengedett mennyisége a szennyvízben		Követelmény a betonnal szemben
		általában, tapasztalati érték	előírt érték, tartósan ellenálló beton esetén	
Oldódásos korrózió kioldás folytán	Lágy víz	Nincs érték	Elvonatkoz-tatnak tőle	
Oldódásos korrózió savhatás folytán	Szervetlen és szerves savak	6,5 ≤ pH-érték ≤ 10,0	pH-érték ≥ 6,5	Víz-cement tényező: x ≤ 0,5 [2) 3)] Vízbehatolás a DIN EN 12390-8 szabvány szerint: 30 mm
	Meszet oldó szénsav (CO_2)	< 10 mg/liter [1)]	≤ 15 mg/liter	
Oldódásos korrózió cserebomlás folytán	Magnézium (Mg^{2+})	< 100 mg/liter	≤ 1000 mg/liter	
	Ammónium-nitrogén (NH_4-N)	< 100 mg/liter	≤ 300 mg/liter [5)]	
Duzzadásos korrózió	Szulfát (SO_4^{2-})	< 250 mg/liter	≤ 600 mg/liter	Mint fenn, HS jelű szulfátálló cement nélkül
			≤ 1500 mg/liter	Mint fenn, HS jelű szulfátálló cement nélkül [4)]
			≤ 3000 mg/liter	Mint fenn, HS jelű szulfátálló cementtel

Megjegyzések:

1) Ez az érték a szokásos kommunális szennyvizekben nem szokott előfordulni, egyes esetekben dréncsövekben elvezetett talajvízben mértek hasonló nagyságrendű értéket.

2) Kis víz-cement tényező és különleges összetétel esetén a beton kémiai ellenállása számottevően javul.

3) DIN EN 1916:2003 és DIN EN 1917:2003 szabvány szerint a víz-cement tényező nem lehet nagyobb, mint 0,45.

4) Szulfátkorrózionak nagymértékben ellenálló beton készítéséhez a DIN 1164-10:2004 szabvány szerinti HS jelű szulfátálló cement helyett szabad cement és pernye keverékét használni, ha a következő feltételek teljesülnek:
   - CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM II/A-LL vagy CEM III/A cement esetén
   - A pernynek a cement- és pernye-tartalomra vetített részaránya CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S és CEM II/A-LL cement esetén legfeljebb 20 tömeg%, CEM II/A-T, CEM II/B-T és CEM III/A cement esetén legfeljebb 10 tömeg% lehet.

5) Vízvédelmi szempontok miatt ez a követelmény szigorúbb, mint amit a DWA-M 115-2:2005 műszaki irányelvben nem háztartási szennyvizeknek tisztítóműbe való bevezetésére megengednek: legfeljebb 5000 lakos esetén: 100 mg/liter és 5000 lakos felett 200 mg/liter.

A közcsatornába ereszthető nem háztartási, hanem üzemi, ipari és hasonló eredetű szennyvizek szennyező anyag tartalmának megengedett értékeire a DWA-M 115-2:2005 műszaki előírás A.1. függelékében lehet adatokat találni. Ezek közül a fontosabbakat

a *7. táblázatban* mutatjuk be, amelyben szereplő jellemzők és káros összetevők vizsgálatát a *8. táblázatban* szereplő szabványok szerint kell, illetve lehet elvégezni. A *8. táblázatban*, ha honosították, akkor az európai és a nemzetközi szabványok MSZ jelzetét tüntettük fel.

7. táblázat: Közcsatornába ereszthető nem háztartási, hanem üzemi, ipari és hasonló eredetű szennyvizek szennyező anyag tartalmának néhány megengedett értéke (DWA-M 115-2:2005)

Szennyvíz jellemzője, illetve káros összetevőjének megnevezése	Szennyvíz jellemzőjének értéke, illetve a káros összetevő megengedett mennyisége a szennyvízben	Fontosabb megjegyzések
Általános tulajdonságok		
Hőmérséklet, °C	≤ 35	
pH-érték	6,5 – 10,0	Átmenetileg nagyobb érték is lehet, ha a munkabiztonságot és a csatorna üzemeltetését nem veszélyezteti.
Ülepedő anyag	(1 – 10) ml/liter/ félóránként	Amikor a csatorna üzemeléséhez iszapleválasztó szükséges.
Szerves anyagok		
Nehezen illó, lipofil anyagok (és egyéb elszappanosítható olajok és zsírok)	≤ 300 mg/liter	A határérték a „Vorschlag Deutsche Einheitsverfahren (DEV) zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung: Bestimmung von schwerflüchtigen, lipophilen Stoffen. Verfahren nach Lösemittelextraktion und Gravimetrie „H56“, Blaudruck, 2000” vizsgálati módszerhez tartozik. Amíg a vizsgálatot a DIN 38409-H17:1981 szerint végezték, a határérték 250 mg/liter volt.
Szénhidrogén-olajindex, összes	≤ 100 mg/liter	
	≤ 20 mg/liter	Ha egyes esetekben hatékony módszerrel a szénhidrogén-tartalmat tovább kell csökkenteni.
Fenol-index	≤ 100 mg/liter	Az előírt érték desztillálható, halogén-mentes fenol-vegyületekre vonatkozik.
Szerves, halogén-mentes oldószer	≤ 10 g/liter TOC-értékként	Az előírt érték vízzel keverhető és biológiailag könnyen bomló oldószerekre vonatkozik.
Szervetlen anyagok		
Nitrogén ammóniumból (NH_4-N) és ammóniából (NH_3-N)	≤ 100 mg/liter	Ha a szennyvíz tisztító legfeljebb 5000 lakost szolgál ki.
	≤ 200 mg/liter	Ha a szennyvíz tisztító több, mint 5000 lakost szolgál ki.
Nitrogén nitritből (NO_2-N)	≤ 10 mg/liter	Az előírt érték 100 mg/literig növelhető, ha a csatornából a kommunális tisztítóműbe száraz időben legfeljebb 10 mg/liter, csapadékos időben legfeljebb 1,0 mg/liter nitritből származó nitrogén jut.

7. táblázat folytatása

Szennyvíz jellemzője, illetve káros összetevőjének megnevezése	Szennyvíz jellemzőjének értéke, illetve a káros összetevő megengedett mennyisége a szennyvízben	Fontosabb megjegyzések
Szulfát (SO_4^{2-}), a korlátozást a betonkorrózió veszélyének csökkentése teszi szükségessé	$\leq$ 600 mg/liter	Ha a beton nem szulfátálló (nem HS jelű) cementtel készül.
	$\leq$ 3000 mg/liter	Ha a beton szulfátálló, HS jelű cementtel készül.
		Kivételesen nagyobb határérték is megengedhető egyes esetekben, ha a szennyvíz a csatornahálózatban keveredik.
Szulfid (S^{2-}), könnyen szabaddá váló	$\leq$ 2 mg/liter	A határérték akkor érvényes, ha a szennyvíz a csatornában elegendő oxigénhez jut, kémhatása semleges vagy lúgos és hőmérséklete legfeljebb 20 °C.
Kémiai és biokémiai jellemzők		
Biokémiai oxigénigény, 5 napos, BOI_5	$\leq$ 100 mg/liter	
Teljes aerob biológiai lebonthatóság	Nincs határérték	A vizsgálatot akkor kell elvégezni, ha a szennyvíz tisztítóműben üzemelési nehézségek lépnek fel vagy várhatók. Határértékként a kémiai oxigénigény (KOI) határértéke vehető fel. Ha a biológiai lebonthatóság meghatározása nem elegendő, akkor az oldott, szerves eredetű szén (DOC) 24 órás lebonthatósága értékének 75 %-a tekinthető irányszámnak.
Mikroorganizmusok nitrifikációgátlása	$\leq$ 20 %	A nitrifikációgátlást csak abban az esetben kell vizsgálni, ha a kommunális szennyvíztisztító telepen a nem megfelelő nitrifikációból eredő üzemeltetési gondok támadnak. Ha a szennyvíz tisztítótelep nitrifikáló medencéjének üledékében (eleven iszapban) a nitrogén anyagcsere (a szerves anyagok lebontása) csökken, és ez az összes (ammónium, nitrit, nitrát) nitrogén-tartalomnak ($N_{összes}$) és az ammóniumion-tartalomból számított nitrogén mennyiségének (NH_4-N) növekedését okozza, akkor a nitrifikációgátolt szennyvíz kibocsátója az előírt követelményt be kell tartsa.

8. táblázat: A szennyvizek és szennyvíziszapok fontosabb vizsgálat módszerei a DWA-M 115-2:2005 műszaki előírás A.2. függeléke és a magyar nemzeti szabványok szerint

Mintaelőkészítés, a szennyvíz jellemzője, illetve káros összetevőjének megnevezése		Vizsgálati szabvány jele szerint	
		DWA-M 115-2:2005	MSZ
Vizsgálati minta előkészítése			
Útmutatás a mintavételhez		DIN EN 25667-2:1993	
Mintavétel szennyvízből		MSZ ISO 5667-10:1995 DIN 38402-11:2009	MSZ 260-42:1977
Heterogén szennyvíz előkészítése, homogenizálása és mintára osztása		DIN 38402-30:1998	
Általános tulajdonságok			
Hőmérséklet, °C		DIN 38404-4:1976	MSZ 260-2:1955
pH-érték	szennyvízből	MSZ EN 15933:2013	MSZ 260-4:1971 MSZ 260-5:1971
	szennyvíziszapból		MSZ 318-4:1979
Ülepedő anyag		DIN 38409-9:1980	MSZ 260-3:1973
Szerves anyagok			
Nehezen illó, lipofil anyagok (és egyéb elszappanosítható olajok és zsírok)		DEV-Lipophil:2000	MSZ 260-22:1974
Szénhidrogén-olajindex, összes		MSZ EN ISO 9377-2:2001	
Fenol-index, desztillálható fenol-vegyületek		DIN 38409-16-2:1984	
Szerves, halogén-mentes oldószer		DOC-ként: ISO EN 1484:1997	
Szervetlen anyagok			
Nitrogén ammóniumionból (NH_4-N) és ammóniából (NH_3-N)		DIN 38406-5:1983 MSZ EN ISO 11732:2005 (az utóbbi 10 mg/literig)	
Nitrogén nitritből (NO_2-N)		MSZ EN 26777:1998 MSZ EN ISO 10304-2:1999 MSZ EN ISO 13395:1999	
Ammóniumion (NH_4^+)			MSZ 260-9:1988
Szulfát (SO42-)		MSZ EN ISO 10304-2:1999 DIN 38405-5:1985	MSZ 260-7:1987
Szulfid (S2-), könnyen szabaddá váló		DIN 38405-27:1992	MSZ 260-8:1968
Kémiai és biokémiai jellemzők			
Biokémiai oxigénigény, 5 napos, BOI_5		DIN V 38408-24:1987	
Teljes aerob biológiai lebonthatóság		MSZ EN ISO 9888:2000	
Mikroorganizmusok nitrifikációgátlása		MSZ EN ISO 9509:2006	

8. Szennyvíz kémiai korróziójának ellenálló betonok környezeti osztálya

A német közlekedési, építési és városfejlesztési minisztérium (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) a közlekedési vízépítési műtárgyak (Verkehrswasserbauwerken) beton szerkezeteinek védelmével és helyreállításával foglalkozó, ZTV-W 219:2004 jelű (esetenként ZTV-W LB 219 jelűként említett) járulékos műszaki szerződési feltételt adott ki, amelyben a védendő és helyreállítandó vízépítési beton és lövelltbeton, valamint összetevőik tulajdonságát és felületvédelmét tárgyalják. A műszaki feltétel az XA2 környezeti osztályba sorolja a kémiailag mérsékelten agresszív tengervízzel érintkező vízépítési betonokat (például talajvíz-alvíz, változó szintű víz, felcsapódó víz tartománya), és bevezeti az édes- és tengervizek felverődésének (Wasserbeaufschlagung) XW környezeti osztályait. Ha a víztükör állandó (például zsilipkamra- vagy medencefal alvizi vízszintjének tartománya), akkor a környezeti osztály jele XW1, ha a beton váltakozva vizes és száraz (például zsilipkamra- vagy medencefal alvizi és felvizi vízszintje közötti tartománya), akkor XW2. Az XW környezeti osztálynak csak a védő- és helyreállítási munkák szempontlából van jelentősége. A német ZTV-W 219:2004 műszaki feltételben azokat a betonokat, amelyeknek a hátoldala átnedvesedik, az XRD (Rückseitige Durchfeuchtung) környezeti osztályba sorolja. Az XRD környezeti osztályba például azok a betonok tartoznak, amelyek hátoldala a repedéseken vagy a munkahézagokon keresztül nedvesedik át, vagy amelyeknek nagy a vízáteresztő-képessége és egyidejűleg a hátoldali vízfelverődése. Az XRD környezeti osztályban nincs az építőanyaggal szemben követelmény, hanem szerkezeti intézkedésre van szükség. Az XW, XW2 és XRD környezeti osztályokat a német DWA-M 211:2008 műszaki irányelv is átveszi.

A vízszint magasságának hatásáról tudni kell, hogy a víz alatti zónában a betonkorróziós folyamatok tisztán kémiai jellegűek. A váltakozó, ingadozó vízszint zónájában a kémiai hatásokkal egyidejűleg fizikai tényezők, például kiszáradás, telítődés, fagyás stb. is szerephez jutnak, amelyek egymást erősítik, és a beton ismétlő kiszáradásának-telítődésének hatására a pórusokban lévő víz koncentrációja egyre nagyobb lesz, ezért a beton ebben a zónában megy a legnagyobb mértékben tönkre. A vízszint feletti kapilláris zónában a korróziós folyamatok csak abban az esetben fejlődnek ki, ha a párolgásra lehetőség van, például a betonfal víznyomással ellentétes oldalán, ahol az elpárolgó víz helyén a só koncentrációja növekszik (*Biczók* 1956, 1960).

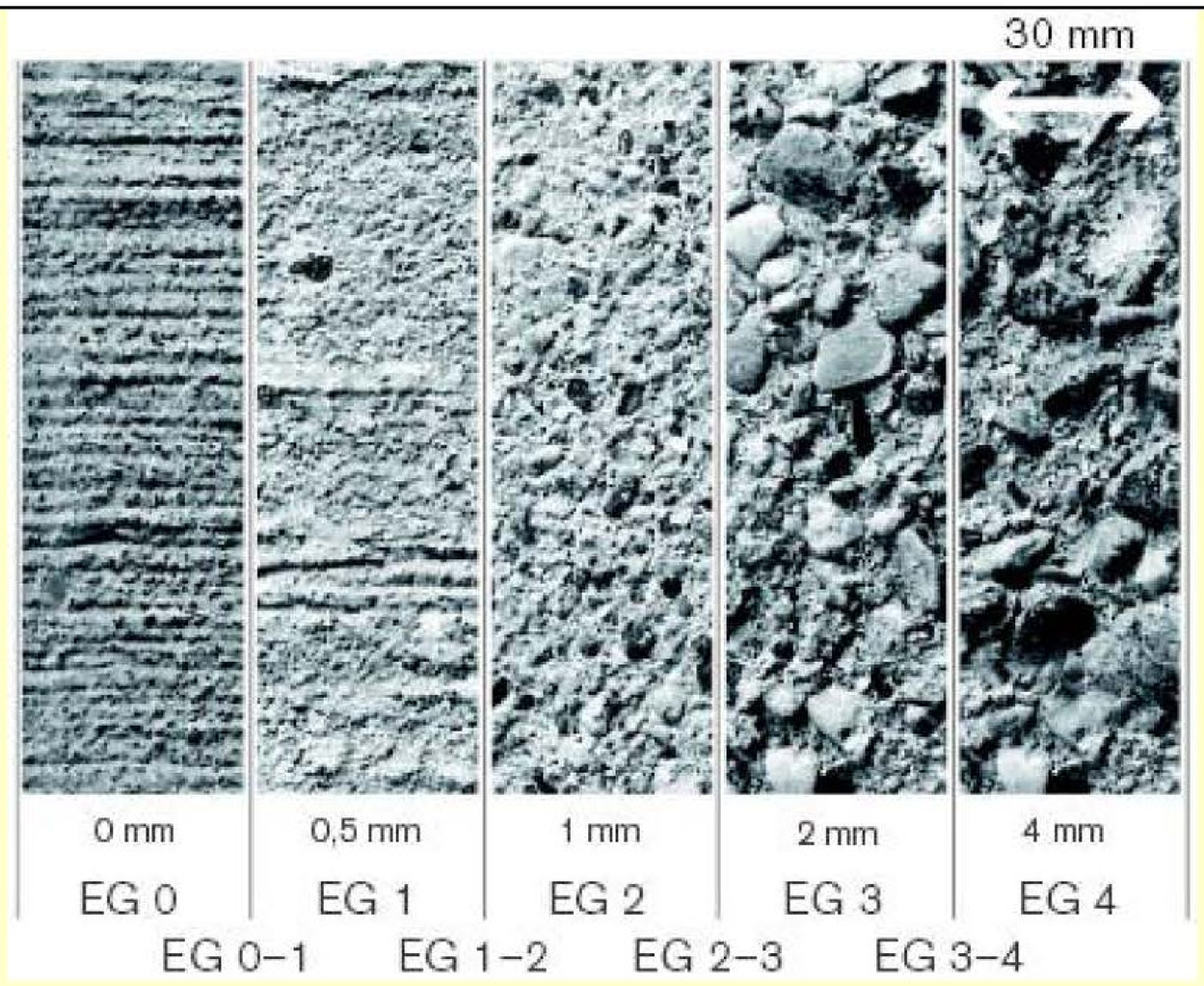
A DWA-M 211:2008 műszaki irányelv a kommunális szennyvíz-tisztítómedencék betonszerkezetinek korrózió elleni védelmét és helyreállítását tárgyalja, és a biogén kénsav korróziójának ellenálló betonok környezeti besorolására bevezeti az XBSK (biogene Schwefelsäurekorrosion) környezeti osztályt, amely pH = 4 érték alatt értelmezhető. A DWA-M 211:2008 műszaki irányelv az XBSK környezeti osztály feltételeiről és követelményeiről nem szól.

Az XA2 környezeti osztályban a felület előkészítése után a beton felületi húzószilárdságának átlagos értéke legalább 1,5 N/mm^2, legkisebb egyedi értéke legalább 1,0 N/mm^2 kell legyen. Az OS (Oberflächenschutzsystem) felületvédő rendszert a víz alatt vagy a változó szintű víz tartományában és ahol a felületvédő rendszer a beton vízháztartását hátrányosan befolyásolja, így az XW és XRD környezeti osztályban, helyreállítás során nem szabad (hacsak az XRD környezeti osztályban a hátoldali átnedvesedést meg nem szüntetik), de új építmények védelmére szabad alkalmazni.

A német DWA-M 211:2008 műszaki irányelv szerint az XW1 környezeti osztályban a vízfelverődés mértéke az állandó víztükör felett 10 cm, az XW2 környezeti osztályban a legalacsonyabb víztükör alatt 10 cm és a legmagasabb víztükör felett 50 cm, mind a két környezeti osztályban üzemi állapotban.

A svájci CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010 műszaki irányelvben a kopást is magába foglaló korrózió mértékének jellemzésére ún. „eróziós fokozatokat" (EG =Erosionsgrad) vezettek be, és az „erózió" mértékét fényképen is szemléltetik (*9. táblázat*).

Kausay, 2013-2017.



9. táblázat: A korrózió mértéke a mechanikai kopást is beleértve

EG = Erosionsgrad, azaz a korrózió mértéke a mechanikai kopást is beleértve

Forrás: Svájci CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010 műszaki irányelv 2. ábrája

A CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010 műszaki irányelvben a betonkorrózió (beleértve a mechanikai kopást is) kockázatát a *10. táblázat* szerint fogalmazták meg a nitrogén körforgása és a víz keménysége függvényében. A vízkeménység a mész-szegény területeken általában kicsi (≤ 1,5 mmol/liter), és rövid ideig kicsi lehet kiadós eső után. Ha a vízkeménység kicsi, akkor a szennyvíznek a kalcium-karbonát betonfelületi védőréteg kialakításához szükséges hidrogén-karbonát-tartalma kicsi.

10. táblázat: A betonkorrózió kockázata a CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010 műszaki irányelv szerint

Kockázati osztály	A (kisebb)	B (közepes)	C (nagyobb)
Vízkeménység, mmol/liter	> 1,5 (8,4 °dH)	> 1,5 (8,4 °dH) vagy ≤ 1,5 (8,4 °dH)	≤ 1,5 (8,4 °dH)
Nitrogén vándorlás	Nitrifikáció és denitrifikáció	Nitrifikáció és denitrifikáció vagy csak nitrifikáció	Csak nitrifikáció
Szennyvíz tisztítási eljárás	Eleveniszapos biológiai tisztítás	Eleveniszapos vagy csepegtetőtestes biológiai tisztítás	Csepegtetőtestes biológiai tisztítás
Megjegyzés: °dH a német keménységi fok (nk°) jelölése német nyelvterületen (deutsche Härte). Átszámítása SI mértékegységre: 1,0 °dH ≡ 1,0 nk° = 0,1783 mmol/liter.			

A szennyvíz tisztító medence térfogati terhelése a szennyvíz töménységének függvénye, nagyobb térfogati terhelés nagyobb oldódásos korrózióra vezet (CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010).

A CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010 svájci műszaki irányelvben a svájci szennyvíztisztító építmények tervezési élettartamát 30 évre teszik, és az EN 206-1:2000 szerinti, talaj és talajvíz kémiai korróziójának ellenálló beton XA környezeti osztályait a szennyvíz okozta

kémiai korrózióra nem tartják érvényesnek (*8. ábra*), hanem helyette bevezették az XAA(CH) környezeti osztályt (*14. és 15. táblázat*).

XA1: schwach XA2: mässig XA3: stark BETONSUISSE

Expositionsklasse XA (CH) – SN EN 206-1, Tab. 2

	Chemisches Merkmal	XA1	XA2	XA3
Grundwasser	SO_4^{2-}	≥ 200 und ≤ 600	> 600 und ≤ 3000	> 3000 und ≤ 6000
	pH-Wert	≤ 6.5 und ≥ 5.5	< 5.5 und ≥ 4.5	< 4.5 und ≥ 4.0
	CO_2 mg/l angreifend	≥ 15 und ≤ 40	> 40 und ≤ 100	> 100 ung
	NH_4^+ mg/l	≥ 15 und ≤ 30	> 30 und ≤ 60	> 60 und ≤ 100
	Mg^{2+} mg/l	≥ 300 und ≤ 1000	> 1000 und ≤ 3000	> 3000 bis zur Sättigung
Boden	SO_4^{2-} mg/kg [a] insgesamt	≥ 2000 und ≤ 3000[c]	> 3000[c] und ≤ 12000	> 12000 und ≤ 24000
	Säuregrad	> 200 Baumann-Gully	in der Praxis nicht anzutreffen	

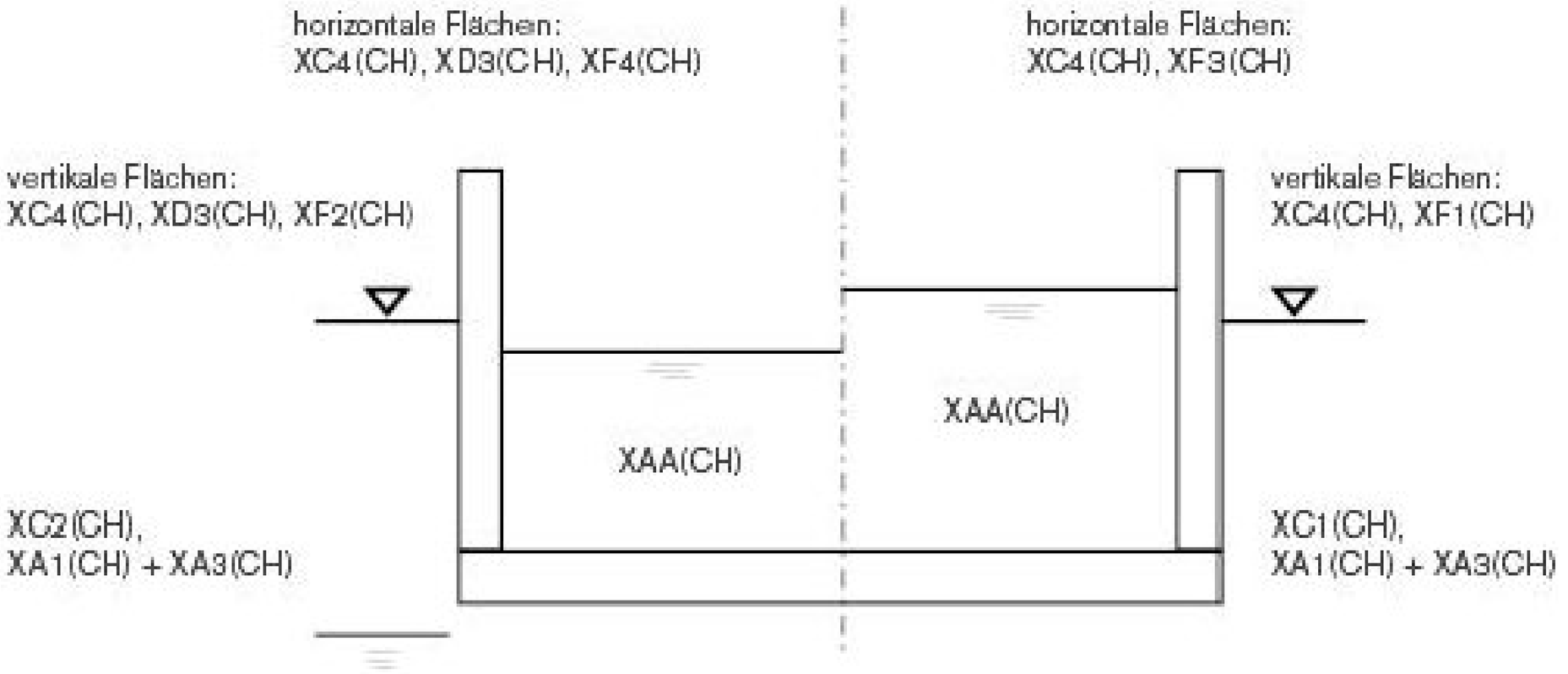
Gilt nicht für Abwasser !

Stefan Bischof Seite 5
Betonerosion in ARA, 07.06.2010

8. ábra: Svájcban az EN 206-1:2000 szerinti XA környezeti osztályok a szennyvíz okozta kémiai korrózióra nem érvényesek. Forrás: *Bischof* (2010)

A CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010 svájci műszaki irányelv a szennyvíz tisztító medencék környezeti osztályait a *9. ábra* szemlélteti. Az ábra bal oldala olyan szennyvíz tisztító medence beton, illetve vasbeton szerkezeti elemére példa, amelynek terepszint alatti része a külső hatások következtében váltakozva száraz vagy nedves és kémiailag agresszív talajjal és talajvízzel érintkezik, terepszint feletti részét pedig fagy- és olvasztósó-hatás éri. Az ábra jobb oldala olyan esetet példáz, amikor a beton, illetve vasbeton szerkezeti elem terepszint alatti része állandóan nedves és kémiailag agresszív talajjal és talajvízzel érintkezik, terepszint feletti részét pedig fagyhatás éri. A beton mind a két példa esetében ki van téve a szennyvíz okozta, az XAA(CH) környezeti osztály szerinti kémiai korróziónak.

Svájci példa a biológiai szennyvíz-tisztítómedence talajszint feletti falának beton jelére: C30/37 – XC4(CH) – XF4(CH) – XD3(CH) – XA3(CH) – XAA(CH) – 32 – F4 - Cℓ 0,1 – SN EN 206-1



9. ábra: Két svájci példa a szennyvíz tisztító medencék környezeti osztályaira (CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010)

Magyarországon is elkerülhetetlen a szennyvíz kémiai korróziójának ellenálló betonok környezeti osztályainak (XA4(H), XA5(H), XA6(H)) létrehozása – már csak azért is, mert a szennyvizek sokszor olyan anyagokat is tartalmaznak, amelyek a talajvízben nem fordulnak elő (*Biczók* 1956, 1960) –, és az ilyen, belső korróziónak ellenálló betonok környezeti osztályba sorolása feltételeinek megfogalmazása.

Szennyvíz kémiai korróziójának ellenálló betonok környezeti osztályba sorolásának Magyarországon javasolt feltételeit a 11. táblázatban tüntettük fel. A 11. táblázat határértékeit a fenti rendeletek, szabványok, műszaki előírások és irodalmi ajánlások alapján vettük fel.

11. táblázat: Szennyvizek és egyéb agresszív vizek, folyadékok, gázok, gőzök, permetek és erjedő anyagok okozta kémiai korróziónak ellenálló betonok környezeti osztályba sorolásának feltételei Magyarországon

Kémiai jellemző	Vizsgálati módszer	Környezeti osztály		
		XA4(H)	XA5(H)	XA6(H)
Agresszív szennyvizek és egyéb agresszív vizek [a], folyadékok, gázok, gőzök, permetek és erjedő anyagok [b] okozta kémiai korrózió MEGJEGYZÉS: Új létesítésű, agresszív szennyvizekkel érintkező műtárgyak betonjait a NAD 2. táblázat szerinti kémiai jellemzőktől függetlenül az 1. táblázat 6.2. szakasza szerint kell környezeti osztályba sorolni.				
pH-érték [c] Oldódásos korrózió Kénsavkorrózió esetén járulékos duzzadásos korrózió is	MSZ EN ISO 10523 * MSZ EN 15933 MSZ 260-4 MSZ 1484-22	≤ 6,5 és ≥ 5,0	< 5,0 és ≥ 4,0	< 4,0 és ≥ 3,5
Vízkeménység Oldódásos korrózió	MSZ 448-21	≥ 3 és ≤ 7 nk°, ill. ≥ 0,54 és ≤ 1,25 mmol/liter lágy víz	< 3 nk°, ill. < 0,54 mmol/liter nagyon lágy víz	
Vízben oldott agresszív széndioxid (CO_2), mg/l Oldódásos korrózió	MSZ EN 13577 * MSZ 448-23	≥ 15 és ≤ 40	> 40 és ≤ 100	> 100

Kausay, 2013-2017.

Magnéziumion (Mg^{2+}), mg/l Oldódásos korrózió	MSZ EN ISO 7980 * MSZ 260-52 MSZ EN ISO 14911 MSZ 1484-3	≥ 100 és ≤ 1000	>1000 és ≤ 2500	> 2500
Ammóniumion (NH_4^+), mg/l Oldódásos korrózió	MSZ ISO 7150-1 * MSZ 260-9 MSZ EN ISO 14911	≥ 15 és ≤ 30	> 30 és ≤ 60	> 60
			Szennyvizek esetén:	
			> 30 és ≤ 100	> 100
SO_4^{2-}-tartalom, mg/l Duzzadásos korrózió Kénsavkorrózió esetén oldódásos korrózió is	MSZ EN ISO 10304-1	≥ 200 és ≤ 600	> 600 és ≤ 1500	> 1500
További követelmények agresszív szennyvizekkel érintkező meglévő, felújítandó vagy bővítendő műtárgyak új betonjának szennyvizek okozta kémiai korróziója esetén				
Dikromátos kémiai oxigénigény, KOI_k, mg/l Oldódásos korrózió	MSZ ISO 6060 MSZ 12750-21	–	–	–
Biokémiai oxigénigény 5 napos, BOI_5, mg/l Oldódásos korrózió	MSZ EN 1899-1 MSZ EN 1899-2	–	–	–
Dikromátos kémiai oxigénigény (KOI_k) és 5 napos biokémiai oxigénigény (BOI_5) aránya, KOI_k/BOI_5) Oldódásos korrózió	–	≥ 4	< 4,0 és ≥ 2,5	< 2,5
Redoxi potenciál, ORP, mV Oldódásos korrózió	ASTM D1498	≤ -50 és ≥ -100	< - 100 és ≥ -150	< -150

a) A NAD 2. táblázat akkor vonatkozik a csapadékvizekre (esővizekre), ha azok a betonnal tartósan érintkeznek.

b) A szennyvíziszap vizsgálatához az MSZ 318-1:1985 „Szennyvíziszap vizsgálata. Általános irányelvek” című szabvány nyújthat segítséget, a szerves trágyák az MSZ-08-1744-…:1988 „Szerves trágyák vizsgálata” című szabványsorozat szerint vizsgálhatók.

c) A szennyvíz általában nem savas jellegű, de a szerves szennyeződésekből utólag is keletkezhetnek pH-értéket csökkentő savas anyagok.
A környezeti osztályba sorolástól függetlenül kommunális szennyvízzel érintkező környezetben fokozottan figyelmet kell fordítani a H_2S kialakulására, illetve annak korróziós hatásaira. A kritikus helyeken (pl. települési folyékony hulladék fogadók, csatornaiszap fogadók, primer iszap tárolók, átemelők, átemelők utáni fogadók, illetve csillapító aknák, az elsődleges tisztítási fokozat – beleértve az anaerob biológiai tisztítást is – olyan műtárgyai, ahol fokozott kipárolgásra lehet számítani) a H_2S elleni többszörös védelem, vagyis megfelelő bevonatolás, bélelés, burkolás szükséges.

* Referencia módszer

9. Követelmény a szennyvíz kémiai korróziónak ellenálló betonra

Ha környezetvédelmi szempontok miatt a beton műtárgyban lévő szennyezett vizektől kell a felszíni vizeket megvédeni, akkor folyadékzáró betont kell készíteni. A DAfStb Wassergefährdende Stoffe (2004) irányelv szerint a folyadékzáró beton készítéséhez tiszta portlandcement (CEM I), legfeljebb 20 tömeg% kiegészítőanyagot tartalmazó portlandcement (CEM II/A), bármely kohósalak- és pernye-portlandcement (CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-V, CEM II/B-V), és legfeljebb 80 tömeg% granulált kohósalakot tartalmazó kohósalakcement (CEM III/A és CEM III/B) használható. A cementpép-tartalom a 290 liter/(beton m^3) értéket ne lépje túl.

A betonok savállóságát a térbeli hálós, szabad kalcium-hidroxid (portlandit, $Ca(OH)_2$) szerkezet megszakításával, és a portlandit mennyiségének korlátozásával, illetve megkötésével lehet elérni. A *Materialprüfungsanstalt (MPA) Berlin-Brandenburg* (2007) szerint a saválló beton adalékanyaga saválló (például kvarc) kell legyen, és szemmegoszlási görbéje az I. osztályú görbetartomány felső részén helyezkedjék el. Kiegészítőanyagként kohósalak, kőszén pernye vagy szilikapor alkalmazását javasolják – és javasolható a metakaolin alkalmazása is –, mert ezek a cementkő kalcium-hidroxid-tartalmát csökkentve a saválló beton tartósságára jótékony hatással vannak. A saválló betonokat a kapilláris pórusok mennyiségének csökkentése, a tömörség növelése érdekében kis víz-cement tényezővel és a bedolgozhatóságot biztosító adalékszerrel kell készíteni (*13. táblázat*).

A saválló betonok kötőanyagáról szólva emlékezni kell arra, hogy a betont a szervetlen és szerves savak egyaránt megtámadják, és ennek során elsősorban a cementkő portlandit, azaz szabad kalcium-hidroxid ($Ca(OH)_2$)-tartalmával lépnek reakcióba. A kénsav hatására keletkező gipsz ($CaSO_4$) és az egyéb szulfátok másodlagos ettringit képződés folytán duzzadásos szulfátkorróziót okoznak. A cement annál kevésbé hajlamos a másodlagos ettringit képződésre és a szulfát duzzadásra, és annál szulfátállóbb, minél kisebb a trikalcium-aluminát-hidrát-tartalma. Ha a klinkerből a trikalcium-aluminát fázis (C_3A, felit) hiányzik vagy kicsi a mennyisége, akkor a cement szulfátálló.

Dahme (2006) a klorid-behatolást és a szilárduló beton klorid-megkötő képességét vizsgálta, és kísérlete során meghatározta a cementek kalcium-hidroxid-tartalmát (*12. táblázat*).

12. táblázat: Néhány, x = 0,5 víz-cement tényezővel készített, CEM 32,5 szilárdsági osztályú, 28 napos cementkő szabad kalcium-hidroxid (portlandit, $Ca(OH)_2$)-tartalma (*Dahme* 2006)

Cement fajta	Cementkő szabad kalcium-hidroxid (portlandit, $Ca(OH)_2$)-tartalma, tömeg%
CEM I 32,5 R	21,5
CEM I 32,5 + pernye	13,8
CEM II/A 32,5-NA/NW	10,5
CEM III/B 32,5-NA/HS/NW	6,0

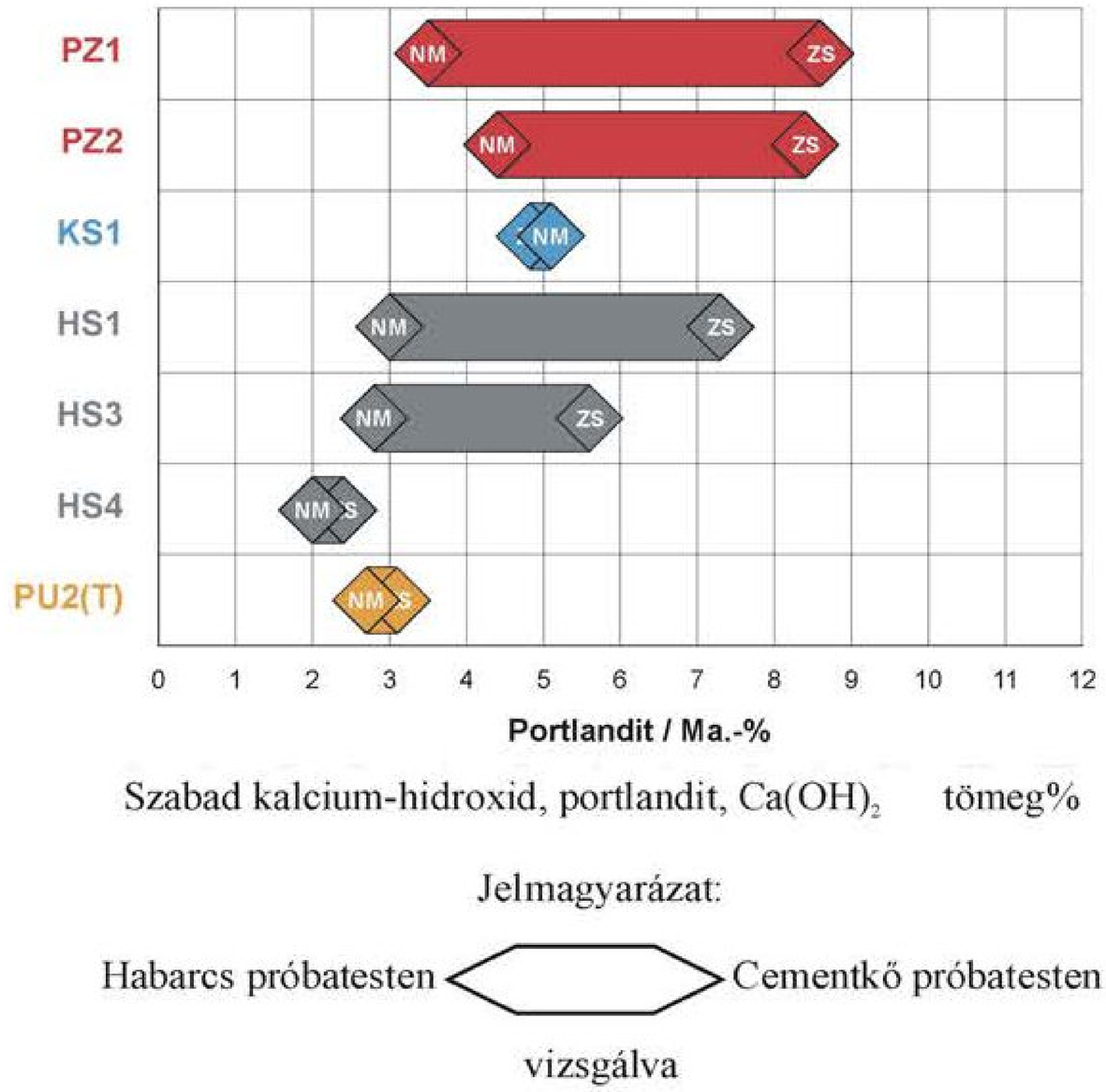
Magyarázat:

NA-Zement: Zement mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt = Kis alkálifém-oxid-tartalmú cementek. A nátrium-oxid egyenérték CEM II/A portlandcement esetén: ≤ 0,6 tömeg%; CEM III/B kohósalakcement esetén: ≤ 2,0 tömeg% (DIN 1164-10:2004)
Nátrium-oxid egyenérték = Na_2O tartalom + 0,658·K_2O tartalom

HS-Zement: Zement mit hohem Sulfatwiderstand = Szulfátálló cement (DIN 1164-10:2004)

NW-Zement: Kis hőfejlesztésű cement (MSZ EN 197-1:2011). Az EN 197-1:2000/A1:2004 szabvány-módosítás megjelenése előtt a DIN 1164:2000 szabványban szerepelt.

Splittgerber (2012) a *12. táblázatban* található *Dahme*-féle értékeknél kisebb, de tendenciájában azokhoz hasonló szabad kalcium-hidroxid értékeket határozott meg, akár a habarcs próbatesteken akár a cementkő próbatesteken kapott eredményeket tekintjük (*10. ábra*). A tendencia megfogalmazásához hívjuk segítségül a *Röhling-Eifert-Jablinski*–féle könyvben (2012) található *Rankin*-diagramot, amely a korabeli kötőanyag jelölésekkel már *Krenkler* (1980) könyvében is szerepelt. *Rankin* a legfontosabb cementek és aktív, II. típusú kiegészítőanyagok tulajdonságainak jellemzésére és összetételének kifejezésére a három legfontosabb összetevő, a (CaO+MgO), (Al_2O_3+Fe_2O_3) és (SiO_2) arányszámát háromszög-diagramban[2] ábrázolta (*11. ábra*).

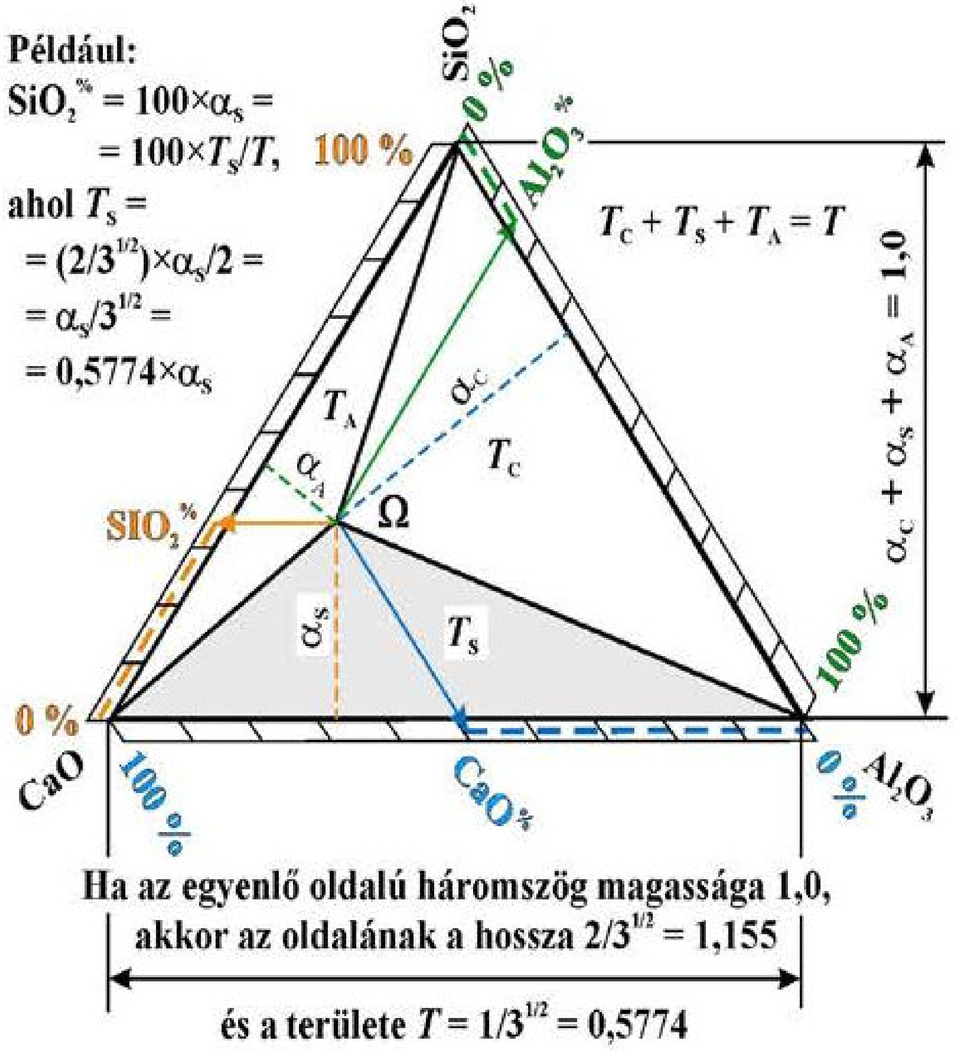


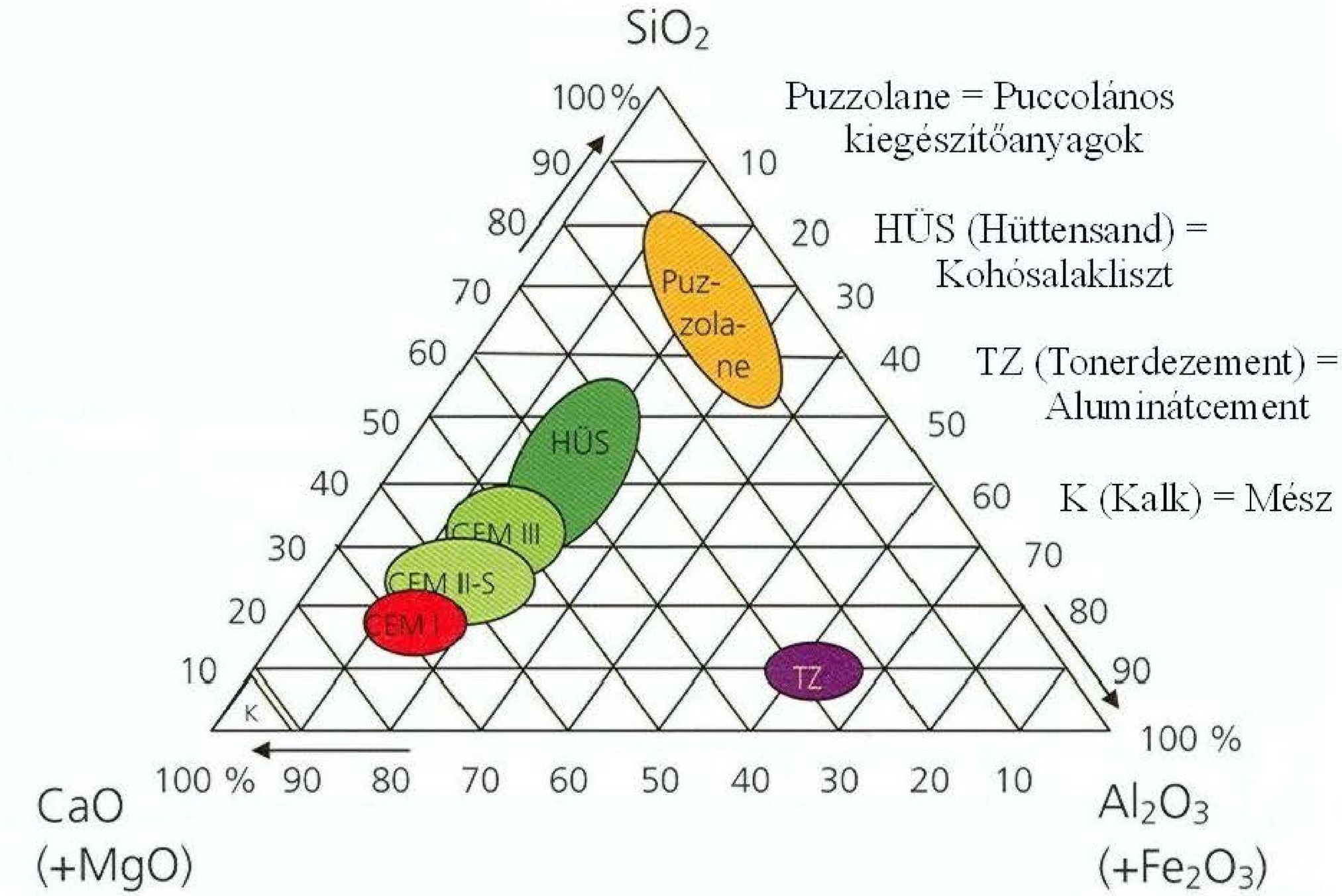
10. ábra: Különböző cement fajták szabad kalcium-hidroxid (portlandit, $Ca(OH)_2$)-tartalma habarcs és cementkő próbatesten vizsgálva (*Splittgerber* 2012)

[2] A háromszög-diagram egyenlő oldalú háromszög, amely igen alkalmas a három-összetevős hidraulikus kötőanyag rendszer összetevői részarányának szemléltetésére.
A három fő összetevő (SiO_2, CaO és Al_2O_3) közül csak kettő független, mert összegük 1,0 vagy 100 tömeg%.

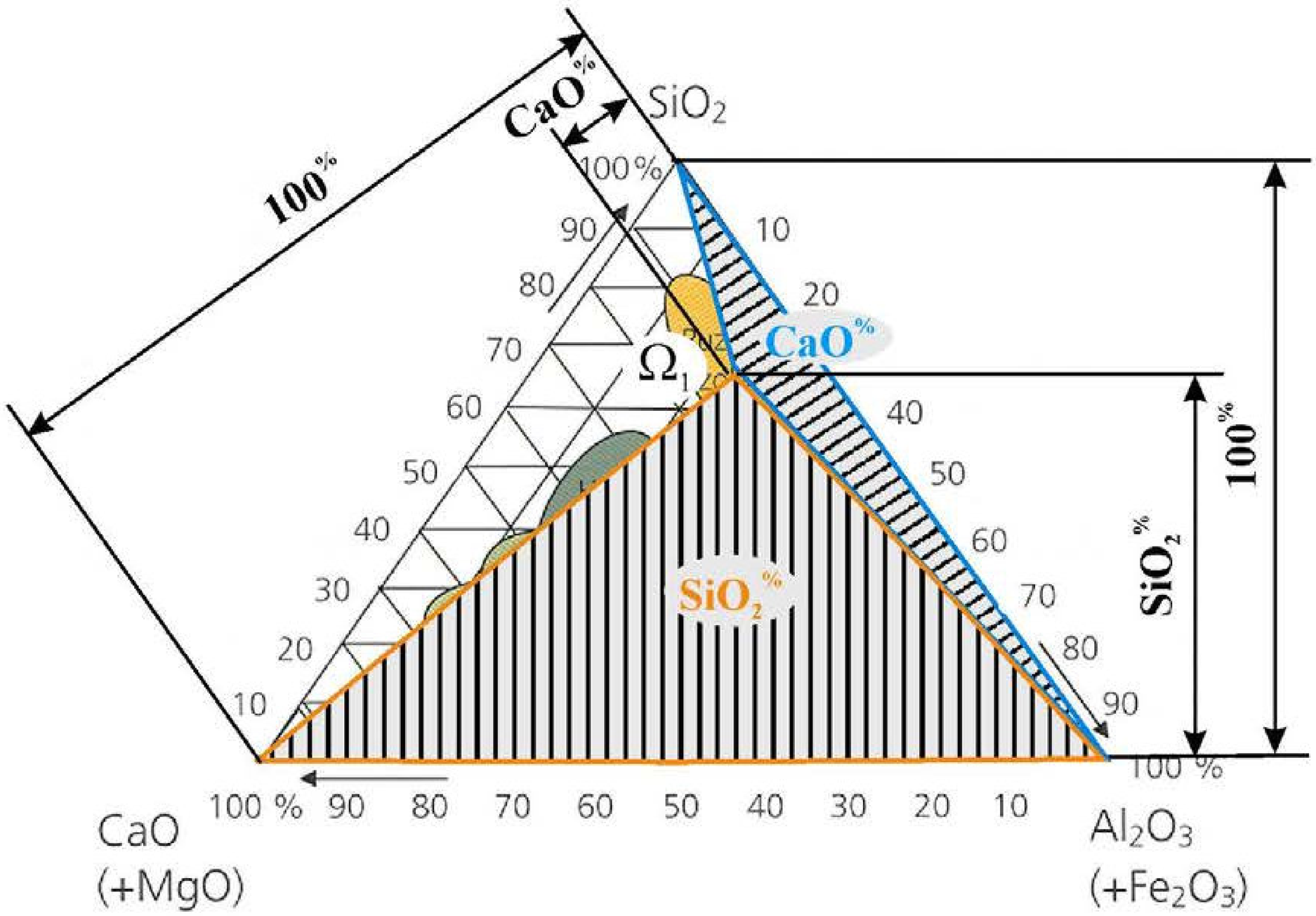
A kötőanyagot megjelenítő Ω egyensúlyi pont a T területű egyenlő oldalú háromszöget három, T_S, T_C és T_A területű részháromszögre bontja, amelyeknek – az egyenlő oldalú háromszög oldalára merőleges – magassága α_S, α_C és α_A. Mind a részháromszögek területe, mind a részháromszögek magassága az egyenlő oldalú háromszögnek a részháromszöggel szemben lévő csúcsa által képviselt kötőanyag összetevő tömegarányával, illetve tömegszázalékával arányos.

Valamely részháromszög magasságát az egyenlő oldalú háromszög megfelelő oldalán lévő skálára – a részháromszög alapjával párhuzamos irányba – vetítve a részháromszöghöz tartozó kötőanyag összetevő részaránya tömegszázalékban leolvasható.

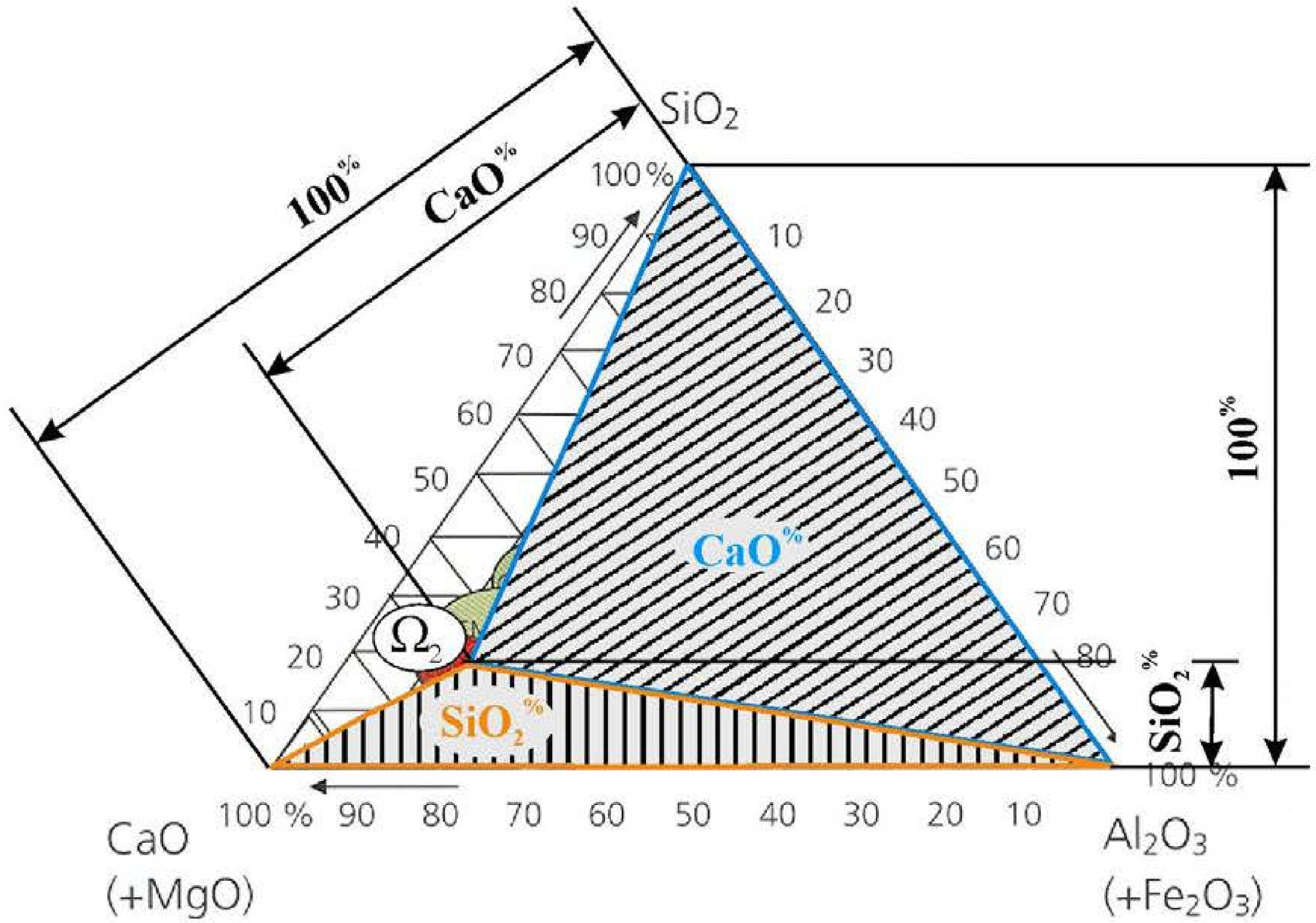




11. ábra: *Rankin*-diagram a legfontosabb cementek és aktív, II. típusú kiegészítőanyagok mezejének feltüntetésével (*Röhling* et al. 2012)



12. ábra: *Rankin*-diagram a kis mész-modulusú ($MM = CaO^{\%}/SiO_2^{\%} < 0,5$) puccolános kiegészítőanyag egyensúlyi pontjával (Ω_1) és részháromszögeivel



13. ábra: *Rankin*-diagram a nagy mész-modulusú (MM = $CaO^{\%}/SiO_2^{\%}$ > 1,5) CEM I fajtájú portlandcement egyensúlyi pontjával (Ω_2) és részháromszögeivel

Novák Dénes és *Novák Edith* a Vasbetonépítés című folyóirat 2009. évi 3. számában (http://fib.bme.hu/folyoirat/vb/vb2009_3.pdf) írja, hogy a Slagstar® nevű kötőanyag (a Szerzők cementnek nevezik) hidratációja során legfeljebb 1,0 tömeg% portlandit ($Ca(OH)_2$) keletkezik, míg a keletkező portlandit mennyisége CEM I és CEM I SR portlandcement esetén 24 tömeg%, CEM III/A és CEM III/B kohósalakcement esetén (6-12) tömeg% közötti érték. A Slagstar® 42,5 N granulált kohósalak alapú C_3A-mentes kötőanyagot a Wopfinger Baustoffindustria GmbH. Wildeggben (Ausztria) gyártja.

A *12.* és a *13. ábra* összehasonlításakor azt látjuk, hogy a cementek klinker-tartalmának növekedésével növekszik a kalcium-oxid (CaO)-tartalom és csökken a szilícium-dioxid (SiO_2)-tartalom, illeve növekszik a mész-modulus (MM = CaO/SiO_2). A kohósalakliszt mész-modulusa a cementekénél kisebb, az aktív, II. típusú kiegészítőanyagok mész-modulusa pedig a legkisebb. Ugyanakkor a *12. táblázat* és a *10. ábra* szerint a klinker-tartalom, illetve a mész-modulus növekedése a cementek szabad kalcium-hidroxid (portlandit, $Ca(OH)_2$)-tartalmának növekedésével jár, amely a CEM I fajtájú portlandcementek (MSZ EN 197-1:2011) esetén – beleértve a CEM I-SR fajtájú szulfátálló portlandcementeket is – a legnagyobb, de a CEM II/A-MSR fajtájú mérsékelten szulfátálló portlandcementek (MSZ 4737:2013) esetén is nagy. Ez a körülmény a betonok – beleértve a szulfátálló betonokat is – savállóságát rontja, amely helyzeten e portlandcementek nagy szabad kalcium-hidroxid-tartalma egy részének megkötésével, például szilikapor vagy metakaolin betonba keverésével javíthatunk.

Javasolt adagolás a cement-tartalomra vonatkoztatva, például

- CEM I fajtájú portlandcement alkalmazása során, metakaolin esetén mintegy 15 tömeg%, szilikapor esetén mintegy 10 tömeg%;
- CEM II/A portlandcement alkalmazása során, metakaolin esetén mintegy 10 tömeg%, szilikapor esetén mintegy 10 tömeg%;

- CEM II/B portlandcement alkalmazása során, metakaolin esetén mintegy 5 tömeg%, szilikapor esetén mintegy 10 tömeg%..

Metakaolint vagy szilikaport a betonba CEM II/A-D fajtájú szilikapor-portlandcement esetén, CEM II/A-M vagy CEM II/B-M fajtájú kompozit-portlandcement esetén és CEM III fajtájú kohósalakcement esetén nem szabad keverni.

CEM II/A-MSR fajtájú mérsékelten szulfátálló portlandcementek esetben azonban szulfátállósági és vegyszerállósági próbákkal bizonyítani kell a heterogén portlandcement és a hozzákevert kiegészítőanyag kombinációjának alkalmasságát. A szulfátállósági próbákat mind habarcs-, mind pedig termékből kifúrt betonmintákon el kell végezni. Mind a 10·40·160 mm méretű, hiányos szemmegoszlású szabványhomokkal készített, gőzöléssel szilárdított habarcs próbatesteken, 28 napos korban mért, mind a legalább 28 napos betontermékből kifúrt, például Ø30·150 mm méretű beton magmintákon mért MSZ 4737-1:2013 szabvány szerinti szulfátduzzadás okozta hosszváltozás a mérsékelten szulfátálló cement esetén legfeljebb 1,0 mm/m lehet. A beton magminták szulfátállósági vizsgálatát 30000 mg/l SO_4^{2-} tartalmú Na_2SO_4 oldatban kell elvégezni. A kombináció megfelelőségének bizonyítására a vegyszerállósági vizsgálatokat szintén a termékből kifúrt betonmintákon kell elvégezni.

A szilikapor vagy a metakaolin közötti választást azok összetétele, illetve a választás gazdaságossága befolyásolhatja. Az összetételről szólva, a *szilikapor* legalább 85 tömeg% amorf szilícium-dioxidot és legfeljebb (1-2) tömeg% alumínium-oxidot tartalmaz; a *metakaolin* amorf szilícium-dioxid tartalma legalább 50 tömeg%, alumínium-oxid-tartalma a 40 tömeg%-ot is eléri, puccolános reakcióképessége a szilikaporénak kétszerese, szabad kalcium-hidroxid megkötő képessége – kisebb szilícium-dioxid tartalmából következtetve – kisebb, mint a szilikaporé, és nagy alumínium-oxid-tartalma, a szilikaporéhoz képest kis szilikát-modulusa (SM = $SiO_2{}^{\%}/(Al_2O_3{}^{\%} + Fe_2O_3{}^{\%})$) a szulfátállóság szempontjából hátrányt jelenthet. Ha a saválló beton felületét hatékony és tartós védőbevonattal látják el, és feltételezzük, hogy a védőbevonat az üzemi használat során nem sérül meg, akkor a szilikapor és a metakaolin tulajdonságai összehasonlításának műszaki szempontjai talán másodlagossá válhatnak.

13. táblázat: Saválló beton tartóssága (*Materialprüfungsanstalt, Berlin-Brandenburg* 2007)

Kémiai jellemző	Korrózió veszélye			Határérték saválló beton esetén
	Gyenge	Erős	Nagyon erős	
SO_4^{2-}, mg/liter	200 – 600	600 – 3000	3000 – 6000	≤ 6000
pH-érték	6,5 – 5,5	5,5 – 4,5	4,5 – 4,0	≥ 3,5
Agresszív CO_2, mg/liter	15 – 40	40 – 100	> 100	≤ 150
NH_4^+, mg/liter	15 – 30	30 – 60	60 – 100	≤ 300
Mg^{2+}, mg/liter	300 – 1000	1000 – 3000	> 3000	≤ 6000
Javaslat a saválló beton összetételére, illetve tulajdonságaira				
Beton nyomószilárdsági osztálya				C60/75
Kloridmigrációs tényező, 28 nap után, m^2/g				$< 0{,}8 \cdot 10^{-12}$
Víz-cement tényező				< 0,45
HS jelű szulfátálló cement szilárdsági osztálya (DIN EN 197-1, DIN 1164)				42,5 R
Lisztfinomságú (0,125 mm alatti) szemek (Mehlkorn) mennyisége, kg/m^3				< 370
Kiegészítőanyag-tartalom (kvarcliszt + pernye + szilikapor) a kötőanyagban				30 – 40

Kausay, 2013-2017.

(cement + kiegészítőanyag), tömeg%	
Adalékanyag frakciók szemnagysága 0/2, 2/8, 8/16 mm, a szemmegoszlási görbe az A-B tartomány felső részén helyezkedik el.	
Megjegyzés: A savas korrózió veszélye pH = 3,5 esetén ezerszer nagyobb, mint pH = 6,5 esetén (logaritmikus skála).	

A szennyvíz-tisztító vasbeton és feszített vasbeton medencék előírt névleges betonfedését (c_{nom}) az XAA(CH) környezeti osztályban a CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010 műszaki irányelv szerint a *14. táblázat*, a beton előírt víz-cement tényezőjét és cement-tartalmát a *15. táblázat* tartalmazza.

14. táblázat: Szennyvíz-tisztító vasbeton és feszített vasbeton medencék előírt névleges betonfedése (c_{nom}) a CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010 műszaki irányelv szerint

Szennyvíz kémiai korróziójának ellenálló vasbeton és feszített vasbeton környezeti osztálya a CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010 műszaki irányelv szerint: XAA(CH)			
Kockázati osztály	A	B	C
	Előírt névleges betonfedés (c_{nom}) legalább, mm		
Betonacél	40	45	50
Feszítő acél	50	55	60

15. táblázat: Szennyvíz-tisztítómedencék betonjának előírt víz-cement tényezője és cement-tartalma a CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010 műszaki irányelv szerint, ha az adalékanyag legnagyobb szemnagysága (D_{max}) legfeljebb 32 mm

Követelmény	Szennyvíz kémiai korrózióján ak ellenálló beton környezeti osztálya a CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010 műszaki irányelv szerint: XAA(CH)
Víz-cement tényező, legfeljebb	0,45
Cement-tartalom (kiegészítőanyag-tartalom beszámítása nélkül), legalább, kg/m^3	320

A svájci CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010 műszaki irányelv 4.3.1 szakasza szerint az XAA(CH) környezeti osztályban csak az XD3(CH) környezeti osztályban engedélyezett cementfajták alkalmazhatók. Ha a betont fagy és fagy-olvasztó só hatás is éri, akkor csak az SN EN 206-1:2006 szabvány NA.3 táblázatának szóban forgó XF környezeti osztályában engedélyezett cementfajtákat szabad felhasználni (*16. táblázat*). Ha a szennyvíz átlagos szulfát-tartalma (SO_4^{2-}) nagyobb, mint 600 mg/liter, akkor az SN EN 197-1:2011 szabvány szerinti nagy szulfátállóságú cementtel kell a betont készíteni.

16. táblázat: Előírás a beton tulajdonságaira a környezeti osztályokban az SN EN 206-1:2006 svájci betonszabvány NA.3 táblázata szerint

Anforderungen an		Expositionsklassen											
			Durch Karbonatisierung verursachte Korrosion				Durch nicht aus Meerwasser stammenden Chloride verursachte Korrosion			Frostangriff			
		XO	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4
Maximaler w/z-Wert [-]			0,65	0,65	0,60	0,50	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45
Mindestzementgehalt[a] [kg/m³]			280	280	280	300	300	300	320	300	300	300	340
Mindestluftgehalt [Vol.-%]											3,0[b]		
Prüfungen						SIA 262/1, Anhang A: Wasserleitfähigkeit					SIA 262/1, Anhang C: Frost-Tausalz-Widerstand		
								SIA 262/1, Anhang B: Chloridwiderstand					
Andere Anforderungen										SN EN 12620:2002 enthält Anforderungen an die Gesteinskörnungen			
Zulässige Zementarten[c]	CEM I	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/A-LL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/A-M (D-LL)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/B-LL[d]	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	CEM II/A-D	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/A-S	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM III/A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-
	CEM III/B	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/A-M (V-LL) [1]	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/B-M (V-LL) [1]	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/B-T [2]	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Megjegyzések a svájci cement táblázathoz (*16. táblázat*):

a) Kiegészítőanyagok beszámítása nélkül

c) „+” az alkalmazást engedélyezik, „-„ az alkalmazást nem engedélyezik

d) A legkisebb cementtartalmat 20 kg/m^3-rel meg kell növelni a CEM II/B-LL mészkő-portlandcement esetén

Az XAA(CH) svájci környezeti osztályban általában nincs szükség a betonfelület SN EN 1504-2:2004 szabvány szerinti járulékos védelmére, de a szennyvízzel érintkező felület nagyon sima és zárt kell legyen.

A kommunális szennyvíz-tisztítómedencék betonfelületének helyreállítását nem ajánlott az SN EN 1504-2:2004 szabvány szerinti impregnálással végezni. A szennyvíz-tisztítómedencék helyreállítására a SIA 269/2:2011 svájci műszaki irányelv és az SN EN 1504 szabványsorozat vonatkozik (CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010).

A beton korrózióállósága az összetételtől, a fiatal korú beton védelmétől és egyéb építési (élek és sarkok kialakítása, repedéskorlátozás, felületi állapot) és üzemben tartási (mechanikai tisztítás) tényezőktől függ. A beton víz-cement tényezője és a cement fajtája hatással van a beton szabad kalcium-hidroxid-tartalmára és a cementkő tömörségére. A fiatal beton felületét hosszú ideig kell utókezelni, és a lehető legkésőbb szabad a szennyvízzel kapcsolatba hozni (CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010).

A biológiai szennyvíz-tisztítómedence betonját a SIA 262:2003 műszaki irányelv szerinti NBK4 utókezelési osztálynak megfelelő ideig kell utókezelni. A SIA 262:2003 műszaki irányelv szerinti utókezelési osztályok feltételeit a *17. táblázat* tartalmazza.

17. táblázat: A SIA 262:2003 műszaki irányelv szerinti utókezelési osztályok feltételei

Hőmérséklet a beton felületén °C t	Beton szilárdulásának üteme, f_{cm2}/f_{cm28}								
	gyors $f_{cm2}/f_{cm28} \geq 0{,}50$			közepes $0{,}50 > f_{cm2}/f_{cm28} \geq 0{,}30$			lassú $0{,}30 > f_{cm2}/f_{cm28} \geq 0{,}15$		
	Beton elérendő nyomószilárdsága az utókezelés végén a 28 napos nyomószilárdság (f_{cm28}) százalékában (előírt viszonyított szilárdság), %								
	30	50	70	30	50	70	30	50	70
	Utókezelési osztály								
	NBK2	NBK3	**NBK4**	NBK2	NBK3	**NBK4**	NBK2	NBK3	**NBK4**
	Utókezelés ideje, legalább, ha az előírt viszonyított szilárdság elérésének pontos ideje nem ismert, nap								
$t \geq 25$	1	1,5	**3**	1,5	2,5	**5**	2,5	3,5	**6**
$25 > t \geq 15$	1	2	**5**	2,5	4	**9**	5	7	**12**
$15 > t \geq 10$	1,5	2,5	7	4	7	**13**	8	12	**21**
$10 > t \geq 5$	2	3,5	**9**	5	9	**18**	11	18	**30**

Megjegyzés:

- Ha a beton bedolgozhatósági ideje 5 óránál több, akkor az utókezelési időt arányosan meg kell hosszabbítani;
- 5 °C alatti hőmérséklet esetén az uókezelési időt annyival meg kell hosszabbítani, amennyi ideig a hőmérséklet 5 °C alatt volt;
- Ha a beton szilárdulási üteme rendkívül lassú, akkor az utókezelésre különleges előírás adható.

Biczók (1956, 1960) írta, hogy *Kind* (1954, 1955) szerint savhatás esetén nem saválló kőanyagok (például mészkő, dolomit, homokkő) is alkalmazhatók betonadalékanyagként, mert ilyenkor a korrózió lassabban hatol a beton belsejébe.

Az üzemben lévő biológiai tisztítómedence szennyvízzel érintkező falát nem szabad nagynyomású berendezéssel tisztítani. A medence leürítése esetén az üledéket hagyni kell kiszáradni, majd ezután lehetőleg kis mechanikai igénybevétellel kell eltávolítani (CEMSUISSE-Merkblatt MB 01:2010).

Megemlítjük, hogy a 2010 nyarán átadott Budapesti (csepeli) Központi Szennyvíztisztító Telep építése során szulfátálló cementeket alkalmaztak a vízzáró és korrózióálló betonok kötőanyagaként. A nyári időszakban az alacsony hőfejlesztés érdekében CEM III/B 32,5 N-S szulfátálló kohósalakcement, télen pedig a nagyobb kezdeti szilárdság érdekében CEM II/A-V 32,5 R-S szulfátálló pernye-portlandcement felhasználásával készült több tízezer köbméter, C30/37 – XV2(H) – XD2 –XA2 – 32 – F4 – MSZ 4798-1:2004 jelű, az agresszív szennyvizeknek ellenálló vízzáró beton (*Kovács* et al. 2008, *Lengyel* et al. 2010). A *1. fényképen* a csepeli eleveniszapos medence látható.

A Dolomit Kőbányászati Kft. (Gánt, Betonüzemvezető: *Spránitz Ferenc* okl. építőmérnök) a szennyvizek korrozív hatásának ellenálló, az XA5(H) környezeti osztálynak megfelelő előregyártott beton csatornázási aknaelemeket gyárt az MSZE 15612:2014 előszabvány szerinti minőségben (*2. és 3. fénykép*).

1. fénykép: A Budapesti (csepeli) Központi Szennyvíztisztító Telep szulfátálló cementtel, XD2 – XA2 környezeti osztályú, kloridoknak közepesen, talaj és talajvíz kémiai korróziójának mérsékelten ellenálló, klorid-, szulfát- és korrózióálló betonból épült eleveniszapos medencéje

2. fénykép: A Dolomit Kőbányászati Kft. MSZE 15612:2014 előszabvány szerint, XA5(H) környezeti osztályú, metakaolin kiegészítőanyag-tartalmú betonból készített előregyártott beton csatornázási aknagyűrűelemei

3. fénykép: A Dolomit Kőbányászati Kft. MSZE 15612:2014 előszabvány szerint készített egyedi kialakítású, belső felületi védőréteggel ellátott előregyártott beton csatornázási aknafenékeleme

AJÁNLÁS

Táblázat található a cementek korrozív környezetben – XA, XA(H) és XD környezeti osztályokban – lévő betonokhoz, illetve vasbetonokhoz való alkalmazásáról:

http://www.betonopus.hu/notesz/cementek-korroziv-korny.pdf

HIVATKOZÁSOK

Előírások, irányelvek

220/2004 (VII. 21.)	Korm. rendelet a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól
28/2004. (XII. 25.)	KvVM rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól
ATV-Merkblatt M 168:1998	Korrosion von Abwasseranlagen. Abwasserableitung. Merkblatt. Abwassertechnische Vereinigung e.V.
CEMSUISSE-Merkblatt	MB 01:2010 Betonerosion in Biologiebecken von Abwasserreinungsanlagen
DAfStb-Richtlinie	Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (BUmwS). Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag GmbH., Berlin, Wien, Zürich, 2004.

DIN 1045-2:2008	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton. Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1. DIN 1164-10:2004 Zement mit besonderen Eigenschaften Teil 10: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Normalzement mit besonderen Eigenschaften
DIN 4030-2:2008	Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase. Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben
DIN EN 1916:2003	Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton. Deutsche Fassung EN 1916:2002
DIN EN 1917:2003	Einsteig- und Kontrollschächte aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton. Deutsche Fassung EN 1917:2002
DWA-M 115-2:2005	Indirekteinleitung nicht häuslichen Abwassers. Teil 2: Anforderungen. Merkblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
DWA-M 168:2010	Korrosion von Abwasseranlagen. Abwasserableitungen. DWA-Regelwerk. Merkblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef
DWA-M 211:2008	Schutz und Instandsetzung von Betonbauwerken in kommunalen Kläranlagen. Merkblatt. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef
ISO 4316:1977	Surface active agents. Determination of pH of aqueous solutions. Potentiometric method
ISO 5815:1989	Water quality. Determination of biochemical oxygen demand after 5 days (BOD 5). Dilution and seeding method
ISO 15705:2002	Water quality. Determination of the chemical oxygen demand index (ST-COD). Small-scale sealed-tube method
MSZ 1484-22:2009	Vízminőség. 22. rész: A pH és az egyensúlyi pH meghatározása
MSZ 4737-1:2013	Különleges cementek. 1. rész: Szulfátálló cementfajták
MSZ 4798-1:2004	Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon
MSZ EN 206-1:2002	Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség.
MSZ EN 476:2012	Vízelvezető vezetékek és csatornák elemeinek általános követelményei
MSZ EN 1899-1:2000	Vízminőség. A biokémiai oxigénigény meghatározása n nap után (BOI_n). 1. rész: Hígításos és oltásos módszer allil-tiokarbamid hozzáadásával
MSZ EN 1899-2:2000	Vízminőség. A biokémiai oxigénigény meghatározása n nap után (BOI_n). 2. rész: Módszer hígítatlan mintákhoz
MSZ EN 12176:2000	Iszapjellemzők. A pH-érték meghatározása
MSZ EN 14457:2004	Szennyvízvezetékek és csatornák kitakarás nélküli fektetésekor használandó elemek általános követelményei

MSZ EN 15933:2013 Iszap, kezelt biohulladék és talaj. A pH meghatározása

MSZ EN ISO 10523:2012 Vízminőség. A pH meghatározása (ISO 10523:2008)

MSZ EN ISO 11732:2005 Vízminőség. Az ammóniumnitrogén meghatározása. Áramlásos analízises (CFA és FIA) és spektrometriás detektálásos módszer (ISO 11732:2005)

MSZ EN ISO 13395:1999 Vízminőség. A nitrit-nitrogén, a nitrát-nitrogén és összegük meghatározása kétféle áramlásos elemzéssel (CFA és FIA) és spektrometriás detektálással (ISO 13395:1996)

ÖNORM B 4710-1:2007 Beton. Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis. Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206-1 für Normal- und Schwerbeton.

SIA 262:2003 Betonbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich.

SIA 269/2:2011 Erhaltung von Tragwerken. Betonbau, die mit der Normenreihe SN EN 1504 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken vernetzt ist. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich.

SN EN 197-1:2011 Zement - Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement

SN EN 206-1:2006 Beton. Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Schweizer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich

SN EN 1504-2:2004 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität. Teil 2: Oberflächenschutzsysteme für Beton

Zementmerkblätter T3 Sulfide in Abwasseranlagen. Ursachen – Auswirkungen – gegenmaßnahmen. Zement-Merkblatt, Tiefbau, Beratung Zement.

Irodalom

Beck, M. – Hofer, M.: Chemischer und Biochemischer Sauerstoffbedarf. VSA (Fachverband für Wasser in der Schweiz) Klärwärterschulung. Glattbrugg, 2005, 2011.Benedix (2008)

Biczók I.: Betonkorrózió, betonvédelem. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1956.

Biczók, I.: Betonkorrosion, Betonschutz. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1960.

Bischof, S.: Merkblatt Betonerosion in Biologiebecken von ARA. Erläuterungen. A Betonsuisse Bernben, 2010-ben tartott „Betonerosion in Biologiebecken von ARA” konferenciáján elhangzott előadás vetített képei: http://www.betonsuisse.ch/betonsuisse/angebot/betonerosion_in_ara/index.html?lang=de

Bosseler, B. – Puhl, R.: Beschichtigungsverfahren zur Sanierung von Abwasserschächten. IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur. Gelsenkirchen, 2005.

Böing, R. – Bolzmann, P. – Hüttl, R. – Rieck, C.: Beton mit erhöhtem Säurewiderstand für ein Schleusenbauwerk in der Lausitz

Breit, W.: Säurewiderstand von Beton. vdz Verein Deutscher Zementwerke, Düsseldorf. Betontechnische Berichte, 2001-2003. pp. 181-190.

Burucs Z.: Vízvédelem. Kempelen Farkas Hallg. Inf. Központ. 2011.

Dahme, U.: Chlorid in karbonatisierendem Beton. Speicher- und Transportmechanismen. Mitteilungen aus dem Institut für Bauphysik und Materialwissenschaft, Universität Duisburg – Essen. Heft. 12. Cuvillier Verlag Göttingen. Göttingen, 2006.

Dillmann, R.: Instandsetzungsmaßnahmen an Betonbauwerken für abwasserberührte Bauwerke. Krefelder Planertag 31.10.2007.Huggenberger 2010

Hunkár B.: A természetes vizek, felhasználásuk és tisztításuk. Fejezet „A természet világa. V. A kémia és vívmányai" című könyv első részében. (Szerkesztette: Dr. Erdey-Grúz Tibor és dr. Gróh Gyula) pp. 222-247. Királyi Magyar Természettudományi Társulat. Budapest, 1940.

Kampen, R. – Bose, Th. – Klose, N.: Betonbauwerke in Abwasseranlagen. Planung, Bau, Instandhaltung. Verlag Bau+Technik GmbH. Düsseldorf, 1984

Kjeldahl, J.: Neue Methoden zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. „Zeitschrift für Analytische Chemie. Band 22. Wiesbaden, 1883"

Kovács J. – Lengyel G. – Martin B. – Orbán Z. – Tóth L.: A csepeli szennyvíztisztító telep betonjai CEM III/B 32,5 N-S és CEM II/A-V 32,5 R-S szulfátálló cementekkel, Beton, XVI. évf. 2008. 1. szám, pp. 8-11.

Krenkler, K.: Chemie des Bauwesens. Band 1. Anorganische Chemie. Springer-Verlag Berlin/Heidelberg GmbH, 1980.

Lengyel G. – Sármay A. – Csiki B.: A Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telep. 1. rész: A projekt általános ismertetése. Beton. XII. évf. 2010. 1. szám, pp. 1-7. Lieshoff et al. 2006

Materialprüfungsanstalt (MPA): Anforderungen an Hochleistungsbetone für Abwasserrohre bei starkem chemischen Angriff. Berlin-Brandenburg, 2007

Mihailich Gy. – Schwertner A. – Gyengő T.: Vasbetonszerkezetek elmélete és számítása. Németh József Technikai Könyvkiadó Vállalata. Budapest, 1946.

Novák D. – Novák E.: Slagstar® 42,5 N C_3A-mentes új speciális cementfajta az agresszív kémiai korrózió ellen. Vasbetonépítés. XI. évfolyam. 2009. 3. szám. pp. 92-96.

Röhling, S. – Eifert, H. – Jablinski, M.: Betonbau. Band 1. Zusammensetzung, Dauerhaftigkeit, Frischbeton. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2012.

Schulthess, R.: Grundlagen der ARA. Verfahrenstechnik. „Betonerosion in Biologiebecken von ARA", Betonsuisse. Bern, 2010

Splittgerber, F.: Identifizierung der Zementart in Zementsteinen und die Übertragbarkeit auf Mörtel und Betone. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur. Weimar, 2012.

Springenschmid, R.: Betontechnologie für die Praxis. Bauwerk Verlag GmbH. Berlin, 2007

Stein, D. – Brauer, A.: Widerstand von Beton- und Stahlbetonrohren für kommunale Entwässerungssysteme gegen chemische Angriffe. Bochum, 2005. Im Auftrag der Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. (FBS), Bonn.

Theilen, U.: Wasser- und Abwasseranalytik. Technische Hochschule Mittelhessen, Fachbereich Bauwesen, Fachhochschule Giessen. Friedberg, évszám nélkül

Weismann, D. – Lohse, M.: Sulfid-Praxishandbuch der Abwassertechnik. Vulkan-Verlag GmbH. Essen, 2007.

UTÓIRAT, lásd még:

Balázs L. Gy. - Kausay T. et al.: Betonok oldódásos korróziója. Szakirodalmi áttekintés. 1. rész: A vizek és folyadékok kémhatása, keménysége, agresszív széndioxid-tartalma. Vasbetonépítés. XIX. évf. 2017. 3. szám. pp. 46-59.

Balázs L. Gy. - Kausay T. et al.: Betonok oldódásos korróziója. Szakirodalmi áttekintés. 2. rész: A cement kötőanyagú betonok agresszív, szervetlen anyagok okozta oldódásos fizikai, kémiai korróziója. Vasbetonépítés. XXI. évf. 2019. 3. szám. pp. 58-69.

Betonkészítés zúzottkő adalékanyaggal*

KAUSAY TIBOR

Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet, Budapest

---

* A XIII. Szilikátipari és Szilikáttudományi Konferencia anyagából

Építőanyag, XXXIV. évf., 1982. 6. szám

Hazánkban évente mintegy 30 millió tonna betont gyártunk, ami a népességre vetítve 3 tonna/fő, és ez nagyobb fajlagos mennyiség, mint amit az USA, Ausztrália, vagy az Egyesült Királyság magáénak mondhat. E nagy mennyiségű beton tömegének kb. 80%-a adalékanyag. Így ennek a jelentős, évi 24 millió tonnát kitevő építőipari nyersanyagnak a lehető legkedvezőbb felhasználása a népgazdaság számára nem közömbös kérdés.

A tömeges betonkészítés adalékanyagainak változataként a széles körben használt homokos kavics mellett a zúzottkő vehető számításba. Ez utóbbit úgy kell értelmezni, hogy a betonadalékanyag finomszemekben szegény o/d_{max} szemnagyságú zúzottkőből és természetes homokból, vagy 4 mm felett zúzottkőből és 4 mm alatt homokból, vagy 4 mm-nél nagyobb szemnagyságú zúzottkővel javított homokos kavicsból állhat.

A betonadalékanyag megválasztásakor tehát a betonkészítés követelményeinek és az adalékanyag minőségének egybevetésén túl, lényegében a kavics, vagy zúzottkő alkalmazásának előnyeit és hátrányait kell megvizsgálni. Ennek során nemcsak az adalékanyag lelőhelyére, beszerezhetőségére, szállítási körülményeire és építéshelyi fogadási lehetőségeire kell tekintettel lenni, hanem elemezni kell azokat a betontechnológiai és anyagtani változásokat is, amelyek az adalékanyag fajtájának megválasztásától függően lépnek fel, és amelyek a kavicsbetonokhoz hasonlóan a zúzottkőbetonok tulajdonságainak jobb megismerését is időszerűvé teszik. Ez utóbbihoz néhány, a zúzottkő adalékanyagú beton konzisztenciájára, állékonyságára, szilárdságára, alakváltozására vonatkozó betonkísérlet eredményének vázlatos ismertetésével kívánunk hozzájárulni.

A zúzottkőbeton tulajdonságai

A friss beton tulajdonságainak egyik leglényegesebbike a konzisztencia, amely a betonkeverék szállíthatóságát, bedolgozhatóságát, állékonyságát és áttételesen a megszilárdult beton viselkedését egyaránt befolyásolja. Betonkészítés a megfelelő konzisztencia biztosítása nélkül nem képzelhető el.

A friss betont olyan nagyon durva szuszpenziónak kell felfognunk, amelyben a durva adalékanyag a diszperz rész egyik összetevője. Ha meggondoljuk, hogy a diszperz rendszereknek a diszperzitásfok mellett legfontosabb jellemzője a részecskék alakja, akkor érthetővé válik, hogy a kavicshoz képest nagyobb makro- és mikroérdességgel rendelkező zúzottkőszemek a friss beton belső súrlódását, viszkozitását megnövelik, konzisztenciáját földnedvesebbé teszik, és ebben az összadalékanyagra vonatkoztatva csekély fajlagos felület növekedésnek a szerepe elhanyagolható.

A zúzottkőbeton konzisztenciája kúproskadással kifejezve 1,0 cm-rel is kisebb lehet, mint a kavicsbetoné. A mozgékonyságnak ezt a lecsökkenését a bedolgozási energia, vagy idő növelésével technológiailag többnyire nehéz, fokozott cement-, vagy vízadagolással pedig általában célszerűtlen kiegyenlíteni, hiszen az ehhez szükséges beton-köbméterenkénti mintegy 50 kg cement, vagy 15 liter víz többlet a beton zsugorodására és teherbírására rossz hatással lehet.

1. táblázat

Az összetétel hatása a betontulajdonságokra

	1. példa		2. példa	
Cementminőség	350 kspc – 20		450 – R pc	
Adalékanyag	Kavics	Mész-kő	Kavics	Mész-kő
Plasztifikátor, tömeg%	–	1,5	–	1,5
Cementadagolás, kg/m³	560	500	500	400
Vízadagolás, kg/m³	213	715	210	180
Vízcementtényező	0,38	0,35	0,42	0,45
Kúproskadás, cm	6,5	6,7	5,9	6,3
Nyomószilárdság, MPa	38,5	47,1	38,4	43,9
Ultrahang terj. seb., m/sec	4099	4484	3925	4408

A zúzottkőbetonok konzisztencia javítására korszerű megoldást a folyósító adalékszerek alkalmazása ad. Ugyanolyan, vagy kedvezőbb konzisztenciát és nyomószilárdságot lehet a cementadagolásra vett, például 1,5 tömeg% szuperplasztifikátort tartalmazó zúzottkőbetonnal – még a kavicsbetonhoz képest például 80 kg/m³ cement és egyidejűleg 35 kg/m³ víz megtakarítása mellett is – elérni, mint amilyennel a plasztifikálatlan kavicsbeton rendelkezik. Ennek szemléltetésére szolgáljon az *1. táblázat* két példája.

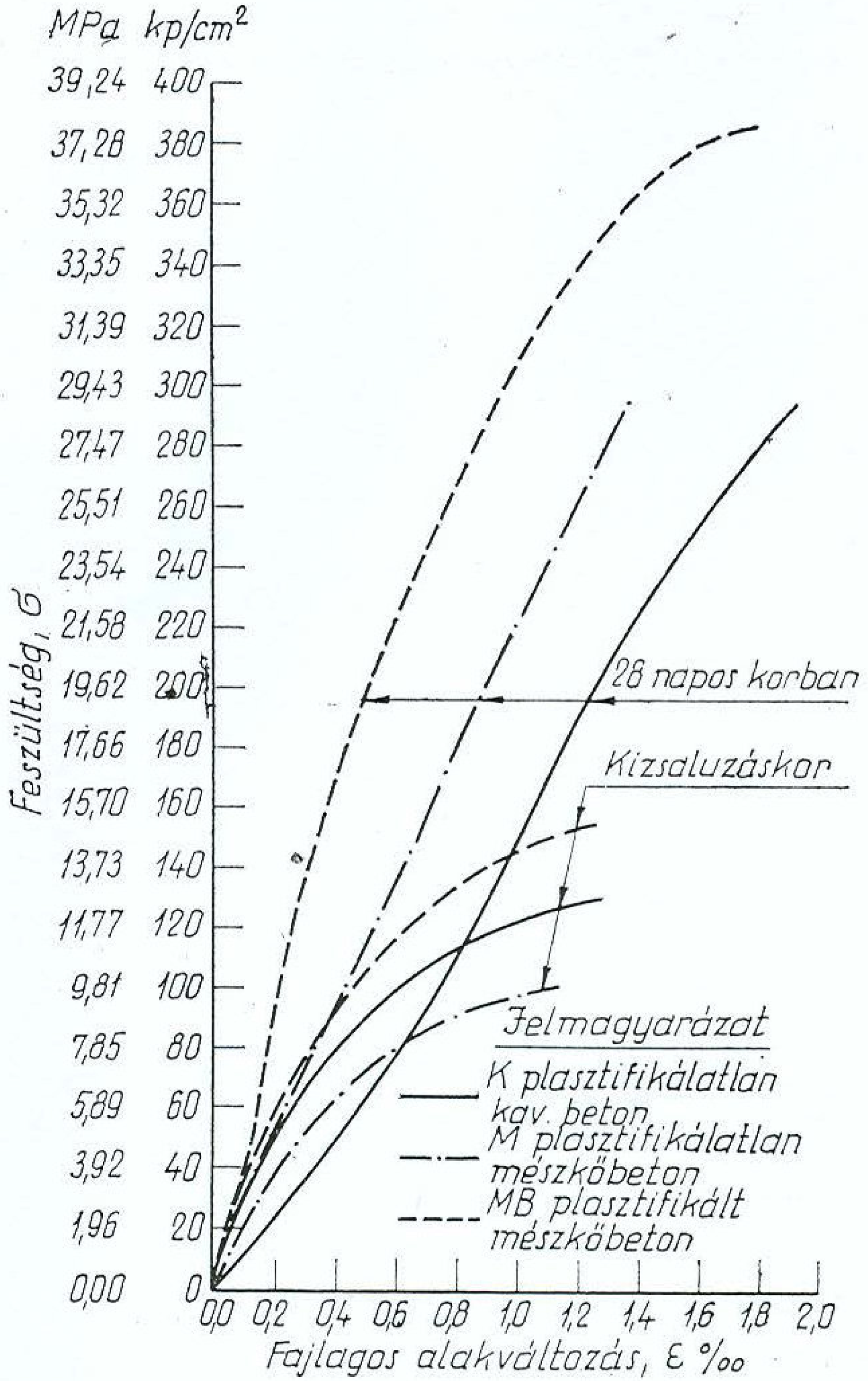
A zúzottkő adalékanyag beton-konzisztenciára kifejtett hatását tehát helytelen kivédhetetlen kedvezőtlen tulajdonságként számon tartani, sőt vannak olyan betongyártási területek, ahol a zúzottkőnek eme tulajdonságát a korai és friss beton állékonyságának növelésére jól ki is lehet használni. Gondolunk itt például a csúszózsalus építésmódra, vagy a bedolgozás után azonnal kizsaluzásra kerülő betoncsövek anyagára.

Már az előzőekből is kitűnt, hogy a zúzottkőbetonok nyomószilárdsága általában meghaladja a kavicsbetonokét. A bemutatott 1. példa két betonkeverékét harmadikkal kiegészítve szemléltetjük a hőérlelt kavics- és mészkőbetonok szilárdság viszonyait és alakváltozását. A harmadik betonkeverék cementadagolása 540 kg/m³, vízadagolása 216 kg/m³, vízcementtényezője 0,4, kúproskadása 6,4 cm volt. A betonok szilárdságait, testsűrűségét, rugalmassági modulusát a *2. táblázat*, az alakváltozási görbéket az *1. ábra* tartalmazza. A táblázat és az ábra a megszilárdult zúzottkőbeton kedvező szilárdsági és alakváltozási tulajdonságait bizonyítja.

2. táblázat

A betonok szilárdulása és rugalmassági modulusa

	Plasztifikálatlan kavicsbeton	Plasztifikálatlan mészkőbeton	Plasztifikált mészkőbeton
10 órás hőérlelés után nyomószilárdság, MPa	15,9	13,1	22,1
hajlító-húzószilárdság, MPa	2,21	2,32	2,87
28 napos testsűrűség, kg/m³	2316	2321	2343
nyomószilárdság, MPa	38,5	42,1	47,1
hajlító-húzószilárdság, MPa	3,86	4,41	4,64
rugalmassági modulus, MPa	35 727	36 799	38 086



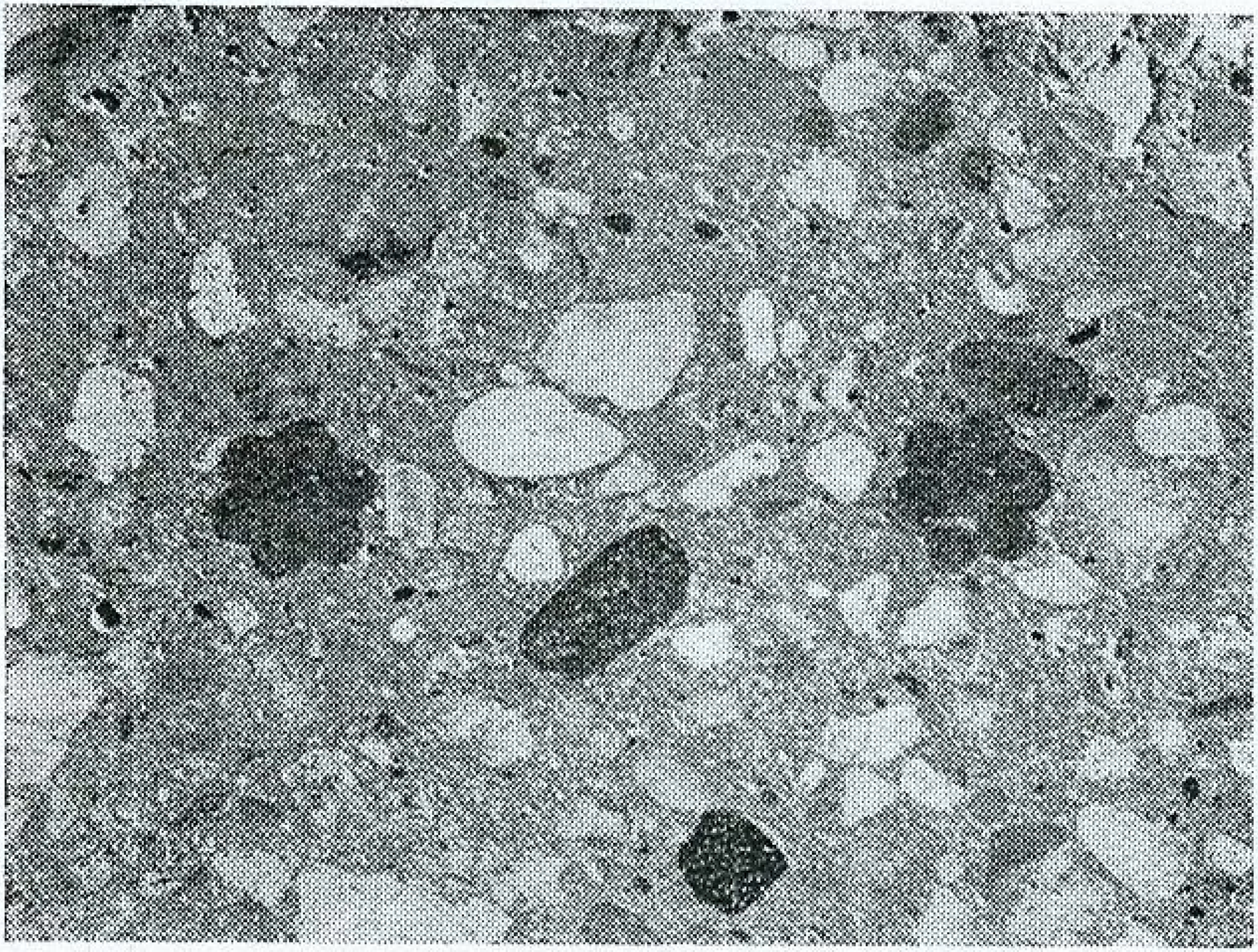
1. ábra. Alakváltozási görbék

Természetesen a betontulajdonságok alakulását a zúzottkő minősége is befolyásolja. A *3. táblázat* segítségével 500 kg/m³ — 350 ppc—10 — cementadagolású, 6 cm kúproskadású, plasztifikálatlan, hagyományosan szilárdított, de különböző fajtájú zúzottkövekkel készített betonok hozzávetőleges vízadagolását, vízcementtényezőjét, nyomószilárdságát, testsűrűségét hasonlíthatjuk egymáshoz, és a kavicsbeton megfelelő adataihoz.

3. táblázat

A zúzottkő fajta hatása a betonjellemzőkre

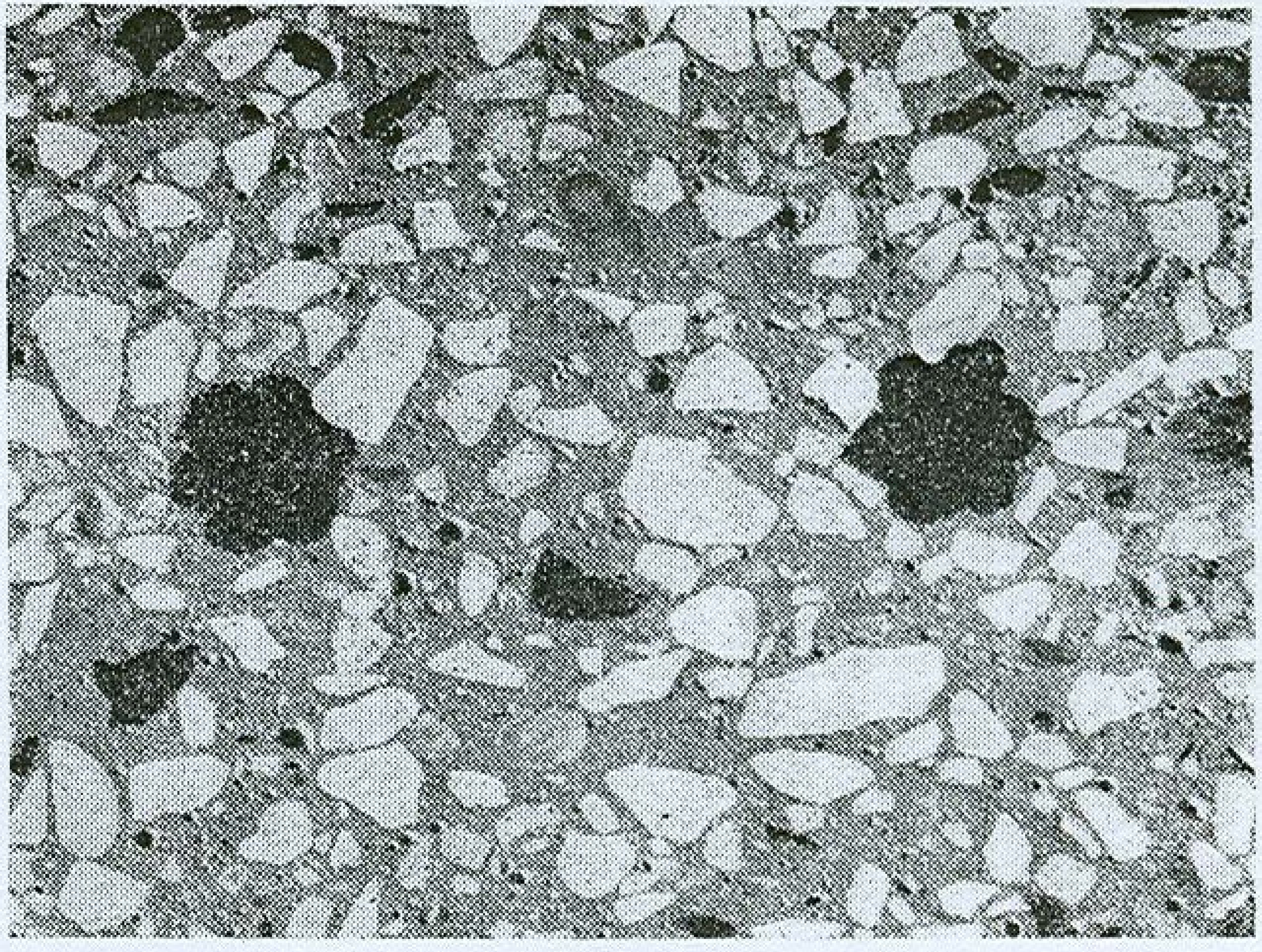
Adalékanyag	Kavics	Mészkő Andezit Diabáz	Homokkő Riolit	Riolittufa
Vízadagolás, kg/m³	185	195	210	290
Vízcementtényező	0,37	0,39	0,42	0,58
Nyomószilárdság, MPa	36	36	32	24
Testsűrűség, kg/m³	2375	2375	2100	1900



2. ábra. Kavicsbeton struktúra

A 3. táblázat rámutat arra is, hogy ha a mészkő, andezit, vagy diabáz adalékanyagú betonok testsűrűsége a kavicsbeton testsűrűségével azonos nagyságú — ami a kellő bedolgozásnak is jele —, akkor a szóban forgó zúzottkőbetonok nyomószilárdsága a nagyobb vízadagolás ellenére eléri a kavicsbeton nyomószilárdságát. Ez a jelenség a zúzottkövek alaki érdessége szilárdság növelő hatásának tudható be.

A kellő bedolgozás és bedolgozhatóság tehát a jó minőségű zúzottkőbeton készítésének ugyanúgy feltétele, mint a kavicsbetonénak. A 2. ábra egy kavics adalékanyagú vasbeton tartószerkezet vágott felületének fényképét mutatja. A 3. ábrán ugyanezen tartó zúzottkővel készült betonjának keresztmetszeti képét láthatjuk. A fényképek betonstruktúráit összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a beton kellő bedolgozása nemcsak laboratóriumi kísérleteknél, hanem ipari méretekben történő betonszerkezet gyártásnál is biztosítható.



3. ábra. Zúzottkőbeton struktúra

Kausay Tibor: **Betonkészítés zúzottkő adalékanyaggal**

Hazánkban a betonútépítés az egyetlen olyan építési ágazat, amelyben a zúzottkőbeton készítésének régi hagyományai vannak. Amíg azonban a zúzottkőbeton néhány különleges pályafáleségtől eltekintve az útburkolatépítésből gyakorlatilag kiszorult, addig a mély- és magasépítés különböző területein egyre szélesebb körű alkalmazást nyer. Ennek az alkalmazásnak azonban nemcsak az indítékai, hanem a feltételei is mások, illetve összetettebbek, mint az útbetonokénak voltak.

A zúzottkövek betonadalékanyagként felhasználásának mai indítékát akár a kavicshiány enyhítésének, a finomszemű homokos kavics javításának, a tört kavics hasznosításának, akár az adalékanyag szállítási távolság csökkentésének, vagy a betontulajdonságok megváltoztatásának szándéka adja, mindenképpen szükséges a friss és megszilárdult zúzottkőbeton tulajdonságait és azok befolyásolhatóságát megismerni.

A zúzottkövek adott minőségű betonokhoz való alkalmazhatóságát elsősorban azok kőzetfizikai csoportja határozza meg. A friss-betonnak a kizsaluzhatóság szempontjából fontos állékonyságát a zúzottkő javítja, a konzisztenciában beállt változás plasztifikátorral egyenlít-

hető ki. A zúzottkő a beton szilárdságát és rugalmassági modulusát kedvezően befolyásolja és vannak roncsolásmentes szilárdság vizsgálati eredmények is. Megtörténtek az első hazai kísérletek az előregyártott feszítettbeton szerkezeti elemek zúzottkőbetonból való előállítására.

Каушаи, Т.: **Производство бетона на заполнителе из щебня**

В условиях Венгрии отроительство бетонных дорог — единственная отрасль строительства, имеющая старые традиции применения щебенистого бетона. Но в то время как щебенистый бетон, несмотря на некоторые специальные решения проезжей части дорог, практически оттесняется из строительства дорожных одежд, он все шире применяется в разных областях гражданского строительства и возведения сооружений. Но в этой области применения не только мотивы, но и предпосылки имеют более сложный характер, чем в дорожном строительстве.

Несмотря на причины применения щебня в качестве заполнителя в настоящее время — устранение недостатка в гравии, усовершествование тонкозернистого песчаного гравия, утилизация дробленого гравия, или же стремление к снижению расстояния при перевозке заполнителя, или к изменению свойств бетона — во всяком случае необходимо узнать свойства свежего и затвердевшего бетона на заполнителе из гравия, а также то, как они поддаются влияниям.

Применимость видов щебня к бетонам заданных марок определяется прежде всего их петрографической-физической группой. Стойкость свежего бетона, имеющая значение для распалубки, улучшается за счет щебня, причем изменение консистенции уравновешивается пластификатором. Щебень влияет благоприятно на прочность и модуль упругости бетона; уже получены результаты испытаний неразрушающими методами. Проведены первые отечественные эксперименты для изготовления сборных предварительно напряженных конструкций из бетона на заполнителе из щебня.

Kausay, Tibor: **Betonbereitung mit Splitt, als Zuschlagstoff.**

In Ungarn ist der Strassenbau der einzige Zweig der Bauindustrie, in dem die Splittbetonbereitung alte Traditionen hat. Während aber der Splittbeton – von einigen speziellen Fahrbahnarten abgesehen – aus dem Strassenbelagbau verdrängt wurde, wird er auf verschiedenen Gebieten des Tief- und Hochbaues immer ausgedehnter verwendet. Nicht nur die Gründe, sondern auch die Bedingungen dieser Anwendungen sind aber anders, bzw. zusammengestzter als das bei den Betonstrassen der Fall war.

EGYETEMI TANKÖNYV

DR. VENDL ALADÁR
KOSSUTH-DÍJAS AKADÉMIKUS
TANSZÉKVEZETŐ EGYETEMI TANÁR

GEOLÓGIA

MÁSODIK, JAVÍTOTT KIADÁS

I. KÖTET

RÉSZLET A KÖNYVBŐL
A betonra káros hatású talajvíz

TANKÖNYVKIADÓ, BUDAPEST

1953

hozama a csapadék mennyiségétől, általában annál alkalmasabb a forrás vize ivási, háztartási célokra. Igen nagy ingadozásúak a karszt járataiból fakadó források. Ilyen pl. a pécsi Tettye-forrás, melynek vize a triász kagylósmészkőből fakad. Az esőzések hatása már rövid idő múlva lényegesen megnöveli e forrás vízhozamát. Ez a hatás azonban csak rövid ideig tart s néhány óra, vagy legfeljebb 1—2 nap elteltével az esőzés megszünte után eltűnik.

Némelyik mészkőből fakadó forrás vízmennyisége kiadós esőzéskor százszázötvenszeresre emelkedhetik. A jó források vize közel állandó mennyiségű s a csapadék hatása lassan és hosszabb időre szétosztva mutatkozik.

A nagyobb mélységből fakadó víz, pl. a mély artézi kutak vize, gyakorlatilag állandó hőmérsékletű.

A BETONRA KÁROS HATÁSÚ TALAJVÍZ

A talajvíz gyakran tartalmaz olyan vegyületeket feloldva, melyek a portlandcementtel készült betont kisebb-nagyobb mértékben megrongálják.

1. *Szénsav. Igen kevés szénsav* (CO_2) a talajvízben jótékony hatású a betonra, mert a betonban levő kalciumhidroxidot gyakorlati szempontból vízben oldhatatlan *kalciumkarbonáttá alakitja* át:

$$Ca\,(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$$

Ha kissé több széndioxid van a vízben, akkor káros lehet a betonra: A betonban mindig van kalciumhidroxid [$Ca\,(OH)_2$] és a belőle — a levegőben vagy a talajban levő szénsav hatására — képződött kalciumkarbonát. A vízben oldott szénsav hatására mindenekelőtt a betonban még meglevő kalciumhidroxidból tiszta vízben gyakorlatilag oldhatatlan kalciumkarbonát keletkezik, miként az imént az egyenlet kifejezte.

Több szabad szénsav azonban a kalciumkarbonátot feloldja kalciumhidrokarbonát alakjában:

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightleftarrows Ca\,(HCO_3)_2$$

Ez annyit jelent, hogy a betonból a nem szilikátos kalciumvegyületek kioldódnak. Ennek következménye, hogy a beton szilárdsága csökken, s apró üregecskék maradnak vissza a kioldott kalciumkarbonát helyett. Hosszú oldás után a beton teljesen széthullhat.

A németországi portlandcementgyárosok kísérleti laboratóriumában végzett vizsgálatok szerint 3 mg/l *agresszív szénsavat* tartalmazó, áramlásban levő víz már káros hatású a betonra. Ha a víz nem mozog, a káros hatás kisebb, mert a beton mentén egyensúlyi helyzet áll elő s diffúzió útján a víz kicserélődése csak igen lassú.

A szénsav hatásának megítélésére tudnunk kell, hogy a szénsav a vízben milyen módon van jelen és milyen a szerepe a vízben oldott kalciumhidrokarbonáttal szemben?

A vízben a szénsav gyakorlatilag kifejezve három alakban fordul elő: a) *félig kötött*, b) *kötött*, c) *szabad* állapotban.

A »félig kötött« szénsav a hidrokarbonátokban, más néven bikarbonátokban van kötve; ilyenek főleg a $Ca\,(HCO_3)_2$, $Mg\,(HCO_3)_2$. A vízben HCO_3, vagyis

hidrokarbonát-ion alakjában van jelen. A víz melegítésekor a félig kötött szénsav teljesen eltűnik s $CaCO_2$ és $MgCO_3$ marad vissza :

$$Ca\,(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

$$Mg\,(HCO_3)_2 \rightarrow MgCO_3 + CO_2 + H_2O$$

A $CaCO_3$-ban és $MgCO_3$-ban »kötött« szénsav van. A félig kötött és a kötött szénsav mennyisége egyenlő.

A »szabad« szénsav a vízben mint gáz vagy H_2CO_3 van feloldva. Egy része az ú. n. »tartozékos« szénsav a vízben levő hidrokarbonátokat tartja oldatban. Az ezen felül levő szénsavmennyiség a vízben az »agresszív« szénsav, mely a fémeket, a betont, a vakolatot stb. megtámadja.

1 liter vízben oldódik :

4° C-on	1473 cm³	vagyis	2,869 g CO_2
8° C-on	1282 cm³	vagyis	2,491 g CO_2
10° C-on	1194 cm³	vagyis	2,316 g CO_2
12° C-on	1117 cm³	vagyis	2,164 g CO_2
15° C-on	1019 cm³	vagyis	1,969 g CO_2

A szabad szénsav a vizet frissítő ízűvé teszi.

A hidrokarbonátszénsav karbonátképződést idézhet csak elő, ami a betonra előnyös, miként az imént említettük. Csak a »szabad szénsav« egy része rombolja a betont.

A *Ca* és *Mg* hidrokarbonátja (= bikarbonátja) azonban csak akkor marad oldatban a vízben, ha a víz kevés szabad CO_2-t tartalmaz. Ezt a szabad szénsavat a vízben — mely a feloldott említett hidrokarbonátok oldatban tartásához szükséges — *tartozékos = egyensúlyi szénsavnak* szokták nevezni. A tartozékos szénsav szerepét a következő egyenlet érzékíti :

$$Ca\,(HCO_3)_2 \rightleftarrows CaCO_3 + H_2O + CO_2$$

Ha a CO_2-t a vízből kivesszük, akkor a reakció a felső nyíl irányában megy végbe, azaz a $CaCO_3$ kiválik.

Tehát a *szabad szénsavnak egy része* ahhoz *szükséges*, hogy a bikarbonátok oldatban maradjanak és csak a vízben még *ezenfelül* jelenlevő szabad szénsav hat károsan a betonra. Ez a *fölös* szénsav az ú. n. »agresszív« szénsav. Tehát a víz tartalmazhat sok szabad szénsavat anélkül, hogy »agresszív« volna, akkor t. i., ha egyúttal sok hidrokarbonát van benne. De *kevés szabad szénsavat* tartalmazó víz is *agresszív* lehet, ha — az igen lágy vizekben — a szabad szénsav mellett csak igen kevés bikarbonát van a vízben.

Ezek szerint, ha a vízben levő szabad CO_2 mennyisége kisebb a tartozékos szénsav mennyiségénél, vagy avval egyenlő, akkor nincs agresszív CO_2 a vízben. Ha nagyobb, akkor a mészre agresszív CO_2 van benne. De nem vehető agresszívnak az a felesleg, mely a megállapított szabad és kiszámított tartozékos szénsav különbségéből adódik. Ha az agresszív szénsav kalciumkarbonátot old, kalciumhidrokarbonát $[Ca(HCO_3)]$ keletkezik ; ennek oldatban tartásához azonban *ismét bizonyos mennyiségű tartozékos szénsav szükséges*, melynek ugyancsak a szabad szénsav feleslegéből kell fedeződnie.

A mészre agresszív szénsav mennyiségét számítás útján, a kémiai úton megállapított *szabad* és *kötött* szénsav mennyiségéből meg lehet állapítani. Meg lehet

határozni közvetlenül is : a vizet tiszta $CaCO_3$-val (tiszta márvánnyal) hozzuk össze s az oldatba ment $CaCO_3$-*at határozzuk* meg. Az eredményből a mészre agresszív szénsav mennyisége kiszámítható.

A gyakorlatban a víz agresszivitását rendesen a következőképpen ítélik meg : 2—3 g porrátört tiszta márványt üvegdugóval zárható edénybe teszünk. Majd a vizsgálandó vízből gyorsan (a szénsavveszteség elkerülésére) mintegy $^1/_2$ liternyit öntünk a márványra. Az üveget bedugjuk s enyhén mozgatva a benne levő vizet a márványporral jól összekeverjük. Azután — a dugó légmentes zárására ügyelve — körülbelül egy hétig várunk. Majd a márvány fölött levő, tisztán átlátszó folyadékból pipettával 100 cm^3-nyit kiveszünk üvegedénybe és néhány csepp metil-orange-oldat hozzáadása után 1/10 normál sósavval megtitráljuk. A titrálásra elhasznált 1/10 normál sósav mindegyik köbcentimétere 2,2 mg kötött szénsavnak felel meg. Az eredeti víz 100 cm^3-jét is megtitráljuk. A különbség a két titráláshoz felhasznált sósav mennyisége közt az agresszív szénsavnak felel meg.

Tudnunk kell még, hogy a tartozékos szénsav mennyisége a hőmérséklettől függ.

Tillmans és *Heublein* összefüggést állapított meg a víz karbonátkeménysége, szabad szénsavtartalma s agresszívitása közt.

A víz keménysége s tartozékos szénsavmennyisége

Karbonát keménység*	Tartozékos CO_2	Karbonát keménység*	Tartozékos CO_2
1,26	0,00 mg/l	13,86	35,0 mg/l
2,52	0,5 «	15,12	47,0 «
3,78	1,0 «	16,38	61,0 «
5,04	1,75 «	17,64	76,4 «
6,30	3,00 «	18,90	93,5 «
7,36	4,8 «	20,16	112,5 «
8,32	7,5 «	21,42	132,9 «
10,08	11,5 «	22,68	154,5 «
11,34	17,2 «	23,94	176,6 «
12,60	25,0 «	25,20	199,5 «

* A változó keménységet karbonátkeménységnek is nevezik.

Ha a vízben a szénsav mennyisége az adott karbonátkeménységhez tartozó tartozékos szénsav\mennyiségénél nagyobb, akkor a víz agresszív.

Ebből a táblázatból grafikusan a közbeeső keménységeknek megfelelő tartozékos szénsav mennyiségét is feltüntethetjük. Ilyen grafikont *Tillmans* és *Heublein* is szerkesztett (628. ábra).

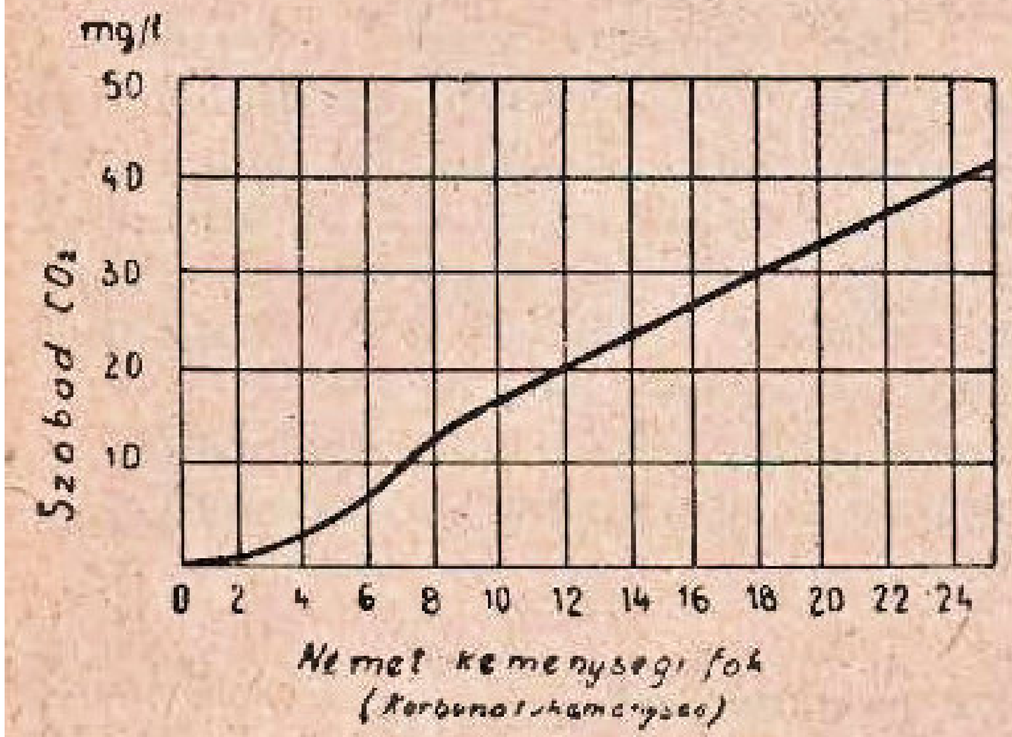
A vízszintes tengely a víz karbonátkeménységét jelzi német keménységi fokban, a függőleges tengely a szabad CO_2 tartalmat mg/literben kifejezve. Ha a szabad CO_2 tartalom a görbén, vagy a görbe alatt van, akkor a víz nem oldja sem a mészkövet, sem a betont gyakorlatilag. A görbe közönséges (17 C^0) hőmérsékletre vonatkozik, de közelítésben kissé eltérő hőmérsékletre is használható. Igen jól érvényes a grafikonban feltüntetett összefüggés az olyan vízre, melyben alkálihidrokarbonát nincs.

Ezek szerint annak eldöntésére, hogy a szénsavtartalmú víz káros hatású-e a betonra, ismernünk kell a víz karbonátkeménységét és szabad szénsav tartalmát. Pontosabb megítéléshez ezeken kívül még a kötött szénsav és a csak a kalciumhoz

kötött szénsav mennyiségét is meg kell határoztatnunk. A vegyész ezen adatok alapján pontosan kiszámítja a tartozékos szénsav mennyiségét.

Gyakorlatilag a kémiai vizsgálatok eredményeiből a mérnök munkája szempontjából a következő következtetések vonhatók 5—20° C hőmérsékletű vízre:

Mintegy 5 német keménységi foknál kisebb keménységű vízben tartozékos szénsav alig van gyakorlatilag, mert ezen szénsav mennyisége kisebb 1 mg/l-nél. Ebből következik, hogy az 5 német keménységű fokú és ennél lágyabb, szabad szénsavat tartalmazó víz agresszív a mészkőre és a betonra, mert $CaCO_3$-at képes oldani, hiszen a szabad szénsavból csak igen csekély rész szükséges tartozékos szénsavnak.



628. ábra. Tillmans és Heublein görbéje. Ha a szabad CO_2-tartalom a görbén, vagy a görbe alatt van, akkor a víz nem agresszív a normális portlandcementből készült betonra

Az igen kemény (30—50 német fokos) vizek tartozékos szénsavtartalma a lágyabb (5—10°-os) vizek tartozékos szénsavtartalmúak kétszáz-háromszázszorosát is eléri. Azaz a bennük levő szabad szénsav úgyszólván teljes mennyiségben tartozékos szénsav. Az ilyen *kemény*, szabad szénsavat tartalmazó *vizek* ennélfogva *meszet nem, vagy alig oldanak*, tehát a betonra vagy *nem*, vagy *alig észrevehetően hatnak* romboláan. Tehát főleg az agresszív szabad szénsavat tartalmazó *lágy víz* hat károsan a betonra.

A szénsavas víz hatása elleni védekezési módok: *a)* A betont igen tömöttre készíteni. *b)* A betont bitumenes készítményekkel (pl. inertollal) bevonni. *c)* Csatornák aszfalttal, esetleg kátránnyal való izolálása.

2. *Szulfátok.* A talajvíz igen gyakran tartalmaz szulfátokat, különösen akkor, ha kissé agyagos területeken szivárog keresztül.

A kékes, szürkés színű agyag mindig tartalmaz igen apró szemcsék alakjában kevés piritet. Ha ez az agyag levegővel érintkezik, akkor a finom eloszlásban benne levő piritszemcsék a levegő hatására oxidálódnak, miként már a kémiai mállás fejezete is ismertette. A pirit oxidációjakor kénsav keletkezik:

$$2FeS_2 + 2H_2O + 7O_2 = 2FeSO_4 + 2H_2SO_4$$

A keletkezett kénsav az agyagban levő ásványokat megtámadja. Így hat a kalcitra:

$$CaCO_3 + H_2SO_4 = CaSO_4 + CO_2 + H_2O$$

A keletkezett $CaSO_4$ egy része oldódik a talajvízben, másik része gipsz ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) alakjában kikristályosodik.

A kénsav azonban elbontja az agyagban levő apró dolomitszemcséket is. Ekkor a kalciumszulfát mellett magnéziumszulfát is képződik, mely a talajvízben oldódik:

$$CaMg(CO_3)_2 + 2H_2SO_4 = CaSO_4 + MgSO_4 + 2CO_2 + 2H_2O$$

A kénsav a szilikátokat is megtámadja. A földpátok *K*- és *Na*-tartalmából kénsav hatására káliumszulfát (K_2SO_4) és nátriumszulfát (Na_2SO_4) keletkezik.

Az oxidáció következtében a pirit vastartalma végeredményben limonit ($Fe_2O_3 \cdot x\,H_2O$) alakjában marad vissza, mely rozsdaszínével az agyagot sárgás-barnásra színezi.

Lehullott növényi részek (lehullt lombozat) bomlásakor is képződik kénsav, illetőleg kénsavas só, a növényekben levő kéntartalmú vegyületekből. A kiinduló anyag a növényi fehérjének a kéntartalma. A növények kéntartalma 1,4—15% közt változik.

Anaerob mikrobák hatására ez a kénvegyület kénhidrogén (H_2S) képződése közben bomlik el. A keletkezett kénhidrogén kénbaktériumok hatására oxidálódik, s kén és víz képződik:

$$2H_2S + O_2 = 2S + 2H_2O$$

A képződött kén azonban víz és oxigén (levegő) jelenlétében azonnal oxidálódik kénsavvá:

$$2S + 2H_2O + 3O_2 = 2H_2SO_4$$

vagy — mivel a kén azonnal oxidálódik — az átalakulás összevontan így írható:

$$2H_2S + 4O_2 = 2H_2SO_4$$

A baktériumok az oxigént vagy közvetlenül a vízből nyerik, vagy azokból a klorofilltartalmú növényekből, melyekkel szimbiozisban élnek.

Ha a kénhidrogénhez nem jut oxigén, illetőleg levegő, akkor a talajnedvességben oldottan levő vasvegyületekkel reakcióba lép és vasszulfid képződik. Ez kikristályosodik pirit vagy markazit alakjában, gyakran olyan vékony hártyákban, vagy annyira apró szemcsékben, hogy szabadszemmel észre sem venni.

A növényekben azonban a kén nemcsak a fehérjékben fordul elő, hanem szulfátok alakjában is. Ezek főleg az ősszel lehulló levelekben gyűltek össze. Némelyik növényben gipszkristályok is találhatók.

Az agyagokban többnyire homokrétegek is vannak, melyek a vizet vezetik. A sok sót tartalmazó talajvíz az agyagrészecskéket koagulálja s ezzel jobban vízvezetőkké teszi.

Sok agyagban a szulfátok mennyisége tetemes lehet. Pl. Budapesten a Lágymányos területén s délre a »keserűvizes« területeken a középső oligocén kiscelli agyagban főleg $MgSO_4$ és Na_2SO_4 nagy mennyiségét tartalmazó talajvíz van. E vízben a szulfátok mennyisége literenként néhol a 45—50 grammot is eléri.

Nemcsak a kiscelli agyagban, hanem *bármely más agyagban* és márgában levő talajvízben is elég sok szulfát lehet feloldva. A talajvízben levő *szulfátok mennyisége* azonban ugyanabban az agyagban is úgyszólván lépésről lépésre *eltérő* lehet, és még *ugyanazon a helyen sem állandó*. Az ingadozás oka: a sók kimosása az agyagból és koncentrálódásuk a vízben a talajvízáram sebességétől, a párolgástól s a felszín közelében a hőmérséklettől is függ.

A szulfátok mennyiségét a mérnöki gyakorlat számára a kémiai úton meghatározott SO_3 súlyával szokták kifejezni.

A leggyakrabban előforduló szulfátok a talajvízben: A nátriumszulfát (Na_2SO_4), káliumszulfát (K_2SO_4) és a magnéziumszulfát ($MgSO_4$), alárendeltebb a kalciumszulfát ($CaSO_4$). Némelyik talajvízben ammóniumszulfát [$(H_4N)_2SO_4$], ritkábban vasszulfát, alumíniumszulfát is lehet. Pontosabban kifejezve *Na*, *K*, *Mg*, *Ca*, H_4N és SO_4 ionok vannak a talajvízben.

A *szulfátok* a talajba beépített *portlandcement-beton megrongálódásának leggyakoribb okozói.* Hatásuk megismerése céljából a beton összetételét kell szemügyre vennünk.

A portlandcement legfontosabb alkotórésze az *alit = trikalciumszilikát* = $= 3CaO \cdot SiO_2$. Ez vízzel keverve erősen hidraulikus. A portlandcement ennek köszöni hidraulikus sajátságát. A *bélit = dikalciumszilikát* = $2CaO \cdot SiO_2$. Ennek három módosulata van: 1420°-nál nagyobb hőmérsékleten az α *módosulat* (α-bélit), 675° és 1420° közt a β és 675°-nál kisebb hőmérsékleten a γ módosulat. A cement készítésekor a cementklinkert gyorsan hűtik le s ekkor az α-bélit alacsony hőmérsékleten is megmarad. Az α és β hidraulikus sajátságú, a γ nem. Kalciumoxid (CaO), alumíniumoxid (Al_2O_3), vasoxid (Fe_2O_3) jelenléte állandósítja az α-módosulatot. Az állandóvá tett α és β-módosulat a cement hidraulikus tulajdonságainak lényeges okozója. A *célit* a tetrakalciumaluminát ($4CaO \cdot Al_2O_3$) és a dikalciumferrit ($2CaO \cdot Fe_2O_3$) keveréke.

E legfontosabb vegyületeken kívül még különböző vegyületek: monokalciumaluminát ($CaO \cdot Al_2O_3$), trikalciumaluminát ($3CaO \cdot Al_2O_3$), pentakalciumtrialuminát ($5CaO \cdot 3Al_2O_3$) keletkeznek a klinkerben. Ezek is hidraulikusak. Azokban a cementekben, melyekben a vasoxid egyenértékben számított mennyisége nagyobb az alumíniumoxidénál, az aluminátok helyett dikalciumferrit ($2CaO \cdot Fe_2O_3$) van.

Ha a gyártáskor a lehűlés gyors, akkor csak az *alit*, *bélit* kristályosodik ki, a többi üveggé dermed meg. Lassú lehűléskor üveg nem válik ki.

A lassan hűtött kész portlandcementben mintegy 60% az alit, 20% a bélit, 10% a trikalciumaluminát és mintegy 10% a kalciumferritek mennyisége.

A portlandcement kötése abban áll, hogy a cement vízzel való keverésekor az alitból mészben szegényebb dikalciumhidroszilikát és kalciumhidroxid keletkezik:

$$3CaO \cdot SiO_2 + x\,H_2O = 2CaO \cdot SiO_2 \cdot yH_2O + Ca(OH)_2$$

dikalciumhidroszilikát kalciumbidroxid

A dikalciumhidroszilikát a vízben szol alakjában van jelen és kocsonyanemű géllé alakul át. Ez ragasztja össze a szemcséket; idővel vizet veszt, kiszárad és átkristályosodik.

A beton romlása a következőképpen megy végbe:

A szulfátos talajvíz érintkezve a betonnal, behatol a nem elég tömör beton pórusaiba is, és a szulfátok a cement kötésekor keletkező kalciumhidroxiddal reagálnak s gipsz keletkezik:

$$Ca(OH)_2 + MgSO_4 = CaSO_4 + Mg(OH)_2$$
$$Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 = CaSO_4 + 2NaOH$$

A keletkezett $CaSO_4$ két molekula vízzel gipszkristályok $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ alakjában válik ki. A gipsz a cement többi része közt kristályosodik *térfogatnövekedés* közben.

Az aluminátokkal, is reagálnak a szulfátok, így a keletkező kalciumszulfát a trikalciumaluminátttal a következő vázlatos egyenlet szerint:

$$3CaO \cdot Al_2O_3 + 3CaSO_4 + 31H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$$

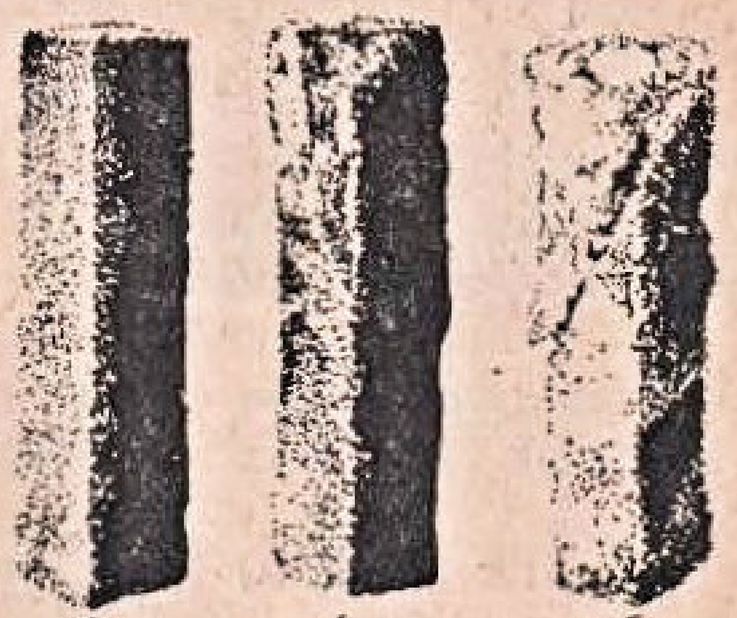
kalciumszulfoaluminát

A kalciumszulfoaluminátot »cementbacillus«-nak is nevezik. Ez az átalakulás is térfogatnövekedéssel jár.

Tehát a szulfátos víz hatására *nagyobb térfogatú termékek* keletkeznek, s ezek a betont repesztik (629. ábra).

Ha a víz *nátriumszulfátot* tartalmaz, akkor a keletkezett nátriumhidroxid a betonban levő *aluminátokat oldja*. Vagyis a *nátriumszulfátos víz* főleg *azokra a betonokra veszélyes*, melyek cementjében *több kalciumaluminát* van.

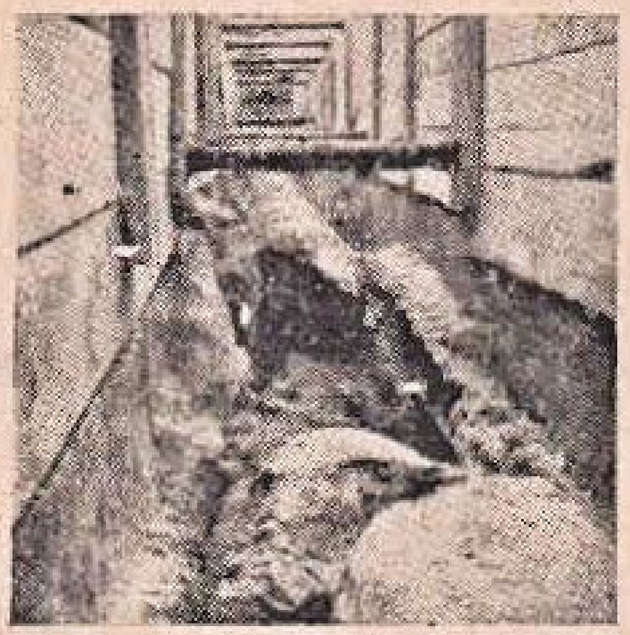
A térfogatnövekedés duzzasztó hatásánál fogva s az aluminátok oldódása következtében a beton lazul, lassan meglágyul s szilárdságát elveszti (630. ábra).



629. ábra. Szulfátos víz hatására megrepedt beton próbatest (Kremser, Karlsruhe)

A kalciumszulfoaluminát csak kalciummal telített oldatban állandó kristályokban. Ezért a már szétbomlott betontest részeiben kristályokban nem mutatható ki.

A képződött repedéseken át ugyanis a szulfátos víz bőven érintkezett a cementtel és a kalciumhidroxid mennyiségét lényegesen csökkentette. Evvel egyúttal a kalciumszulfoaluminát kristályait nyálkaszerű fehér tömeggé bontotta szét. A behatolt újabb szulfátos víz a cement kalciumhidroxidjából — ha még volt belőle — újból kalciumszulfátot, majd kalciumalumíniumszulfátot (= kalciumszulfoaluminátot) képez, és ismét újabb repedések képződnek a betonban. Ha ez a folyamat hosszabb időn át történik, a beton teljesen meglágyul s szétfolyik, nyúlós, kásaszerű anyaggal kevert kavicshalmazzá.



630. ábra. A budapesti németvölgyiúti portlandcement-csatorna beszakadása után. Épült 1930-ban, a felvétel 1934-ben készült. A talajvíz szulfáttartalma 2664 mg SO_3/liter (Szabó János felvétele)

Ha a beton igen porózus, akkor a szulfátos víz nagy feleslegben éri a cementet, s akkor a képződő kalciumszulfoaluminát nem kristályosodik ki, hanem azonnal elbomlik. Ilyenkor nem annyira a duzzadás, hanem főleg az elbomlás idézi elő a beton tönkremenését.

A *Ferrari*-féle portlandcementben az Fe_2O_3 és az Al_2O_3 *egyenlő* molekuláris mennyiségben egymást (tetrakalciumaluminátferrit alakjában) teljesen leköti. Ebben a cementben tehát kalciumaluminát gyakorlatilag nincsen. Ezért a portlandcementek közt a Ferrari-féle áll legjobban ellen a szulfátos víznek. A hazai portlandcementek közül a legellenállóbb az *S 54* jelű, Ferrari-típusú volt.

Minél több szulfátot tartalmaz a talajvíz, *annál nagyobb a romboló hatása* a betonon. Igen fontos tehát, hogy a talajvíz szulfáttartalmát ismerjük. Célszerű azt is megállapítani, hogy milyen szulfátok ($MgSO_4$, Na_2SO_4) vannak a vízben? Az említettek szerint a portlandcementre inkább a keserűsó (magnéziumszulfát) káros. A beton pusztulása annál hamarabb végbemegy, minél kevésbbé tömör a beton s *minél gyakoribb a talajvíztükör változása és minél erősebb a talajvízáramlás.*

A rongálás legerősebb a beton azon részén, mely a legmagasabb és legalacsonyabb talajvízszint között van : A beton magas talajvízben felszívja a vizet,

melyből a talajvíztükör süllyedésekor — párolgás következtében — szulfátok rakódnak le. A víztükör újabb emelkedésekor a kivált sók jó részben újból oldódnak, úgyhogy a betonba jutó víz ott töményebbé válik s mindig újabb szulfáttömegek jutnak a betonba.

A berlini anyagvizsgáló intézet áramló vagy nyomás alatt levő szulfátos víz esetében már 70—130 mg/liter SO_3 mennyiséget is veszélyesnek jelez, különösen portlandcement használatakor.

Tehát szulfátos talajvizes területeken a *portlandcement* használata *óvatosságra* int.

A *bauxitcement* sem egységes vegyület, hanem *kalciumaluminátok* keveréke, kisebb jelentőségű kalciumszilikátokkal és vasvegyületekkel együtt. Többféle kalciumaluminátot állapítottak meg a bauxitcementben; ezek közül főleg a *monokalciumaluminát* idézi elő a cement hidraulikus sajátságát.

A bauxitcement kötésének a lényege: vízfelvétel közben a monokalciumaluminát *kalciumban dúsabb* trikalciumhidroaluminátté alakul, s közben alumíniumhidroxid válik ki gél alakban:

$$3(CaO \cdot Al_2O_3) + xH_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot yH_2O + 4Al(OH)_3$$

A bauxitcementtel készült beton a gipszes, magnéziumszulfátos víznek kissé jobban ellenáll, mint a portlandcement. Ennek oka, hogy kalciumhidroxid is van benne.

A kalciumaluminátok térfogatnagyobbodással egyesülnek a beton pórusain lassan beszivárgó szulfátos talajvízzel. A kalciumaluminátok vízben kissé oldódnak. Ezek az oldatok reagálnak elsősorban a talajvíz szulfátjaival és a keletkező csapadék: a kalciumszulfoaluminát a pórusokat eltömi s a további hatástól a betont bizonyos fokig megvédi.

Ha azonban a talajvíz literenként 300 mg SO_3-nál több szulfátot tartalmaz, akkor a bauxitbeton is — eleinte lassabban, mint a portlandcementbeton — tönkremegy. Különösen károsan hat a nátriumszulfát, melyből — a bauxitcementtel érintkezésben — nátriumhidroxid keletkezik. A beton kalciumaluminátja a nátriumhidroxiddal vízben oldható nátriumaluminátté alakul, s ez kioldódik a betonból, és így a beton szerkezete lazul (631. ábra, l. XXII. tábla).

A bauxitbetonon a káros hatás később jelentkezik, mint a portlandcementből készült betonon. A talajvíz mozgása és tükrének változása ugyanolyan hatású, mint a portlandcementbetonra.

Ezekből következik, hogy szulfátos talajvizes területen védekezés nélkül a portlandcementet csak akkor használhatjuk eredményesen, ha a talajvíz szulfáttartalma kicsi.

A *traszt* tartalmazó portlandcementbetont a szulfátok *kevésbbé* rombolják, azért, mert a cement kalciumhidroxidja a trasz kötőképes kovasavjával vegyül. A kísérlet szerint a trasszal kevert portlandcementtel készült habarcs-próbatestekből kioldható kalciumhidroxid mennyisége kereken csak egyharmada a trasz nélkül készült habarcsból kioldhatónak.

Hosszabb idő után azonban a trasszal készült portlandcementbeton is tönkremegy.

A budapesti alapozások és csatornázások erősen bővítették ismereteinket a szulfátos víz hatásáról. A szerzett tapasztalatok alapján a szulfátos talajvíz káros hatása ellen a következő védekezési módokat ajánlják.

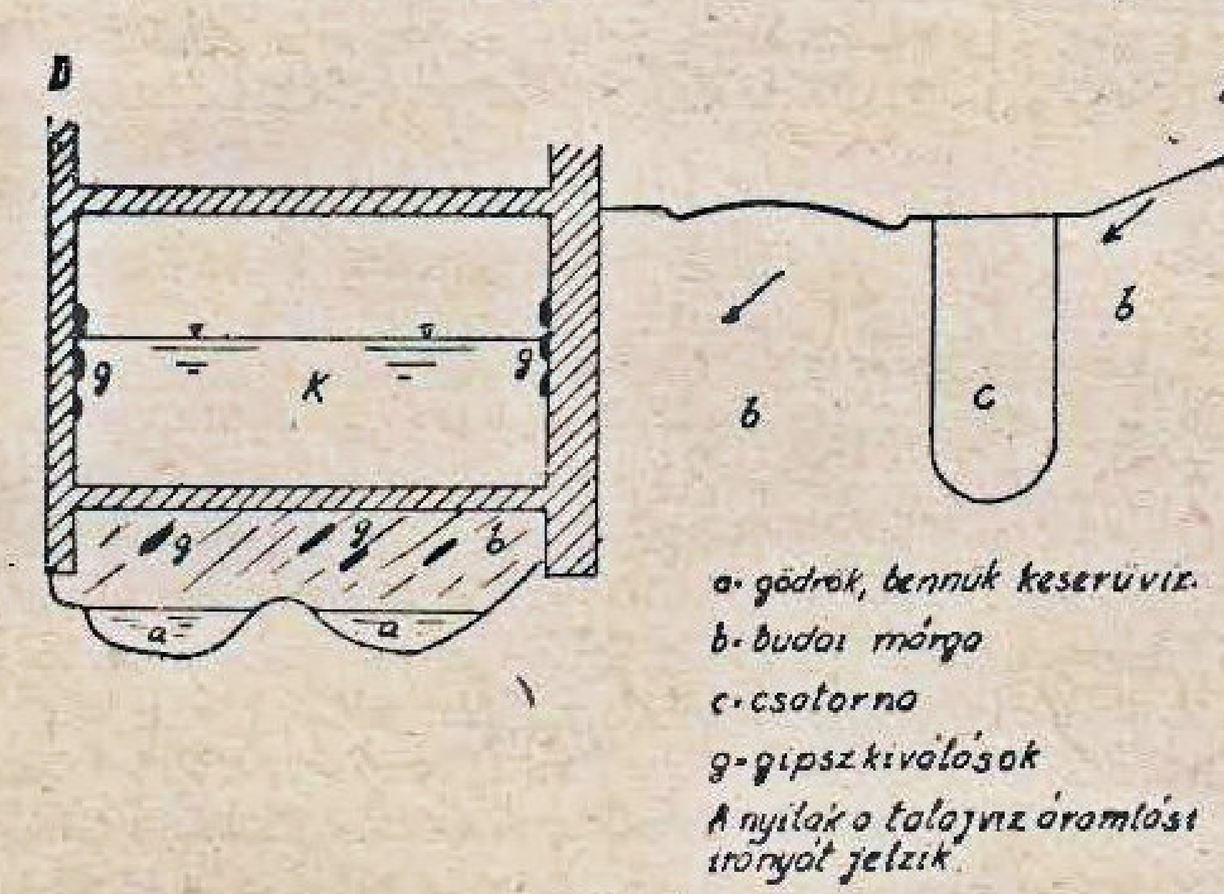
Általános elv, hogy a *beton tömör* legyen. Kívánatos, hogy — amennyire lehetséges — az elkészült betonból — ha csak nincs külön szigetelve — a káros

talajvizet az első 14 napon át tartsuk távol azért, hogy a talajvíz ne hasson károsan már a beton megszilárdulása előtt.

Minél több szulfát van a talajvízben, annál *ellenállóbb* beton szükséges, illetőleg a beton annál tökéletesebben *szigetelendő* a talajvíztől.

Néhol sikerül a szulfátos talajvizet mély bevágással, esetleg mély csatornával távoltartani. A budapesti Gellért-fürdő egyik mélyebben levő helyisége északi falának egyik része közvetlenül érintkezett az alsó oligocén budai márgával. A helyiségben sok szulfátot tartalmazó keserűvíz gyűlt össze, mely a falazatot megbontotta. A falat teljesen ki kellett cserélni részletenként, ablakszerűen. A falon sztalaktitszerű gipszkristálycsoportok váltak ki.

Itt a budai márga rétegei átlag D-felé dőlnek. A márgában levő pirit oxidációja folytán szulfátok keletkeztek a talajvízben. Noha itt a talajvíz igen kevés, mégis



632. ábra

elég volt ahhoz, hogy D-felé szivárogva, a helyiségbe bejusson s a falat elbontsa. Ugyancsak keserűvíz gyűlt össze a káros hatás tanulmányozásakor a helyiség alatt ásott gödrökben is. Itt a kevés talajvíz elvezetéséről kellett gondoskodni, ami a Kelenhegyi-út mentén — tehát a helyiségtől északra — készített mély csatornával sikerült is (632. ábra).

A budapesti építésügyi szabályzat (1940) előírta a szulfáttartalom szerint végzeudő betonozást. Ennek lényege a következő:

Az SO_3 mennyisége 100—200 mg/1. Falazáshoz, illetőleg betonozáshoz olyan habarcs, illetőleg olyan beton használandó, melynek adalékanyaga kis hézagtérfogatú.

1 m^3 betonban legalább 200 kg portlandcement és 50 kg kötőanyagpótló trasz célszerű. Az adalék homokos kavicsban a homok aránya a kavicshoz 1 : 1; a homokban a finom rész (0—1 mm átmérőjű szemek) lehetőleg 40—50% legyen.

200—400 mg SO_3/1: csak bauxitcement vagy erősebb traszadagolású portlandcement használandó. A betonba 250 kg cement és 60 kg trasz kerül köbméterenként. Az adalék olyan, mint az előbbi.

400—800 mg SO_3/1: legalább 20%-kal több portlandcement az egyébként kötelező mennyiségnél és sok kötőanyagpótló (trasz). Célszerű 1 m^3 betonban 280 kg portlandcement +70 kg trasz. Ugyanolyan tömörség, mint előbb.

800—1600 mg SO_3/1: a betont, illetőleg a falazatot a talajvíztől kátránymentes bitumenréteggel kell szigetelni. A beton ugyanaz, mint a 400—800 mg SO_3/1 esetében.

1600—3200 mg SO_3/1: a beton, illetőleg a falazat legalább 12 cm vastag bitumen, habarccsal kongótéglából épített védőfallal szigetelendő. A védőfal belső felületére az előbb említett védőréteg teendő. A beton ugyanolyan, mint előbb.

$SO_3 > 3200$ mg/1: védőfal legalább 25 cm vastag.

A fővárosi csatornaépítkezések számára is készült ugyanakkor előírás a szulfátos víz bomlasztó hatása elleni védekezésre.

Ujabban a szabályzat szigorúságának enyhítése vau folyamatban.

A szulfátos talajvizek betonbontó hatásának meggátlására hosszas kisérletek után igen érdekes módszert dolgoztak ki. A kisérletek azon a megfigyelésen alapultak, hogy olyan esetekben, amikor a munkagödrökben nagyobb mennyiségű organikus anyag jelenléte volt megfigyelhető, a levegőtől elzárt betontestnél szulfátkorrózió nem következett be. A kisérletek során mind laboratóriumban, mind terepen beigazolódott az a tény, hogy az egyes szerves eredetű anyagok mint pl. fűrészpor, fű, tőzeg stb. szulfátredukáló baktériumtenyészetnek szolgálhat táptalajul. Ezen baktériumok hatására a talajvizekben lévő szulfát ionok átalakulnak betonra nem káros termékké, ami a baktériumok szervezetében halmozódik fel. A laboratóriumi kisérletek a terepen is teljes sikerrel jártak.

Az eddigi tapasztalatok szerint a szulfátellenálló (S 54-es) *Ferrari* típusú cement jól ellenáll a szulfátos talajvíznek még akkor is, ha 300 mg/l SO_3-nál jóval többet tartalmaz a víz. Így pl. az S 54. jelzésű cementből készült azbesztcementcsövek nagy töménységű szulfátoldatoknak is ellenállanak az eddigi megfigyelések szerint.

Szulfátok: gipsz ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), anhidrit ($CaSO_4$), glaubersó ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) keserűsó ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) és könnyen *szulfátokká oxidálódó szulfidok:* pirit: (FeS_2), markazit (FeS_2), részben nagyobb tömegekben is előfordulnak. Több közülük más kőzetekben kisebb mennyiségben található.

Ha ilyen kőzetek figyelmetlenségből vagy tudatlanságból a betonkészítéshez felhasználtatnak, akkor a betonba magunk visszük bele a betegség csíráit. Ekkor a beton pusztulása akkor is bekövetkezik, ha a talajvízben nincs nagyobb mennyiségű szulfát. Így a legtömörebb beton is tönkremehet, mert magában a betonban van a káros anyag, többé-kevésbbé egyenletesen szétosztva.

3. *Kénsav.* A talajvízbe juthat kénsav lápos területeken a növények bomlásából, pirit és más szulfid oxidációja következtében és működő vulkáni területeken a szolfatárákból. Gyárak kénsavat tartalmazó szennyvize is hozzájuthat a talajvízhez.

A kénsav *minden cementet elbont.* Közvetlen hatására a kalciumhidroxidon és kalciumkarbonáton kívül az ellenállóbb aluminátok és hidroszilikátok is elbomlanak. A beton rövid idő múlva erősen érdes felületű lesz, a homok- és kavicsszemek meglazulnak, végül fehér, keuőcsszerű lágy anyagban helyezkednek el. Ez a lágy tömeg lényegileg gipszből, kovasavból és alumíniumhidroxidból áll. A beton összetartása teljesen megszűnik és egészen szétesik. A bomlásban levő beton *savanyú kémhatású* (az egészséges beton kémhatása lúgos).

May vizsgálatai szerint 32 mg kénsav 1 liter vízben már igen erős bontóhatású a betonra.

4. *Egyéb savak.* Más erősebb sav is *káros* a betonra. *Kivétel* a fonószövő gyárakban használt *oxálsav.* Ennek hatására betonban a kalciumhidroxidból térfogatnövekedés nélkül az oldhatatlan kalciumoxalát kristályai keletkeznek.

5. *Szóda.* (Nátriumkarbonát.) Alföldi szódás szikes talajaink talajvizében fordul elő. A szóda (Na_2CO_3) a vízben nátriumhidroxidra (nátronlúgra) bomlik s a vizet lúgos kémhatásúvá teszi:

$$Na_2CO_3 + H_2O = NaHCO_3 + Na(OH)$$

A lúg a bauxitcementet elbontja. Így pl. a szegedi távkábel szikes talajban levő szakaszán a bauxitcementből készült betonaknákon — melyek a talajvíz tükre alá értek le — rongálódást észleltek. A portlandcementből készült ugyanott levő aknákon nem jelentkezett változás.

Ha a portlandcementbeton tömött, repedésmentes és felületén már karbonátos, azaz nem friss, akkor a szódaoldat nem hat rá. Ha azonban a beton friss, akkor kalciumkarbonát képződik a beton kalciumhidroxidjából, s újabb nátriumhidroxid keletkezik. Az így töményebbé vált nátriumhidroxidoldat a friss beton kalciumaluminátjából vízben jól oldható nátriumaluminátot képez; evvel a beton gyengül.

6. *Kénhidrogén.* (H_2S). A záptojásszagú kénhidrogén lápokban keletkezik. Onnan a talajvízbe is bejuthat. Kénes források vizében gyakori. A kénhidrogén hatása a betonra főleg abban nyilvánul meg, hogy a kalciumhidroxidot kalciumszulfiddá alakítja, mely levegő hozzájutásával kalciumszulfáttá oxidálódik. A kalciumszulfát vízzel gipsz alakjában kristályosodik ki. Sok levegő hozzájutásakor a kénhidrogén egy része közvetlenül kénsavvá oxidálódhatik, s ennek hatására gipsz keletkezik.

A kénhidrogén hatása annál gyengébb, minél hosszabb időn át volt alkalma a betonnak felületén kalciumkarbonát képzésére a kénhidrogén hatása előtt.

Védekezés: minél tömörebb beton, aránylag mészben szegény cement (bauxitcement, Ferrari-féle cement), esetleg kátrányszigetelés vagy még inkább aszfaltbevonat.

7. *Káliumkarbonát* ($K_2Cr_2O_7$). A bőrcserzésre használt vegyület; vízben oldva a portlandcementből készült betont megtámadja s szétmorzsolja. A talajvízbe bőrcserző telepekből kerülhet bele.

A talajvízszint ingadozása és a talajvíz gyorsabb áramlása mindig gyorsítja a beton pusztulását, miként ezt a szulfátos talajvíz tárgyalása már hangsúlyozta.

A talajnedvesség és az épületek

Mérnöki szempontból a *talajnedvesség* az a víz, melyet a kőzetek hajszálcsövességük folytán magukba szívnak és ott tartanak. Ha a talajnedves kőzetek más hajszálcsöves testtel érintkeznek (tégla, épületkő stb.), akkor a víz azokba is felszívódik. Ha a felszívódást nem akadályozzuk meg vízhatlan szigeteléssel, akkor az *épület falai* bizonyos magasságig *átnedvesednek.*

A felszívódás magassága — miként azt már említettük — a kőzet hézagainak méretétől függ. Durva szemcséjű törmelékes kőzetekben csak néhány cm, finomabb szemcséjű homokban 10—30 cm, vályogokban 1—3 m, agyagban 3—100 m.

A száraznak látszó kőzeteken is van *vízpára.* Ha az épületnek az alsó, a kőzetekkel érintkező része hidegebb, mint a kőzet, akkor a víz lecsapódik rajta, s az épület hajszálcsöves falai ezt a vizet magukba szívják.

A tulajdonképpeni talajvíz nemcsak a mélyebb területeken, hanem a lejtőn és a hegyek tetején is ott lehet. Nagyobb esőzéskor — esetleg csőrepedés következtében is — időnként ott is összegyűlhet a talajvíz, ahol egyébként hiányzott.

Néha — pl. lejtőn — az épület a talajvízáram normális mozgását részben akadályozza. Ekkor az épület a talajvizet duzzasztja, ha kellő levezetésről nem gondoskodunk. Előfordulhat az is, hogy az épület alapja mentén a kiásott törmelékes kőzetet lazán rakták vissza. Az ilyen lazán rakott kőzet ülepedés, száradás közben legtöbbször elválik az alaptól. A keletkezett hézagba szivárgott vízzel is számolni kell.

Alapozás előtt tehát meg kell ismerni a talajvízviszonyokat. Ha a talajvíz elkerülhetetlen, a vízben levő káros hatású alkotórészeket vegyésszel kell meghatároztatni (savanyú víz, szulfátos víz stb.). Csak ez után lehet dönteni, hogy milyen szigetelés szükséges. Lényeges a *legmagasabb talajvíztükör helyzetének ismerete* is, nehogy alacsony szigetelést alkalmazzunk.